



**UNIVERSIDAD DE CANTABRIA ESCUELA
POLITÉCNICA DE
INGENIERÍA DE MINAS Y ENERGÍA**



**ESTUDIO DE SELECCIÓN DE TÉCNICAS DE EXTRACCIÓN, EN FUNCIÓN DE LA
EFICACIA Y EFICIENCIA, DE ARENISCA EN LA ZONA DE CANTABRIA**

**STUDY OF SELECTION OF EXTRACTION TECHNIQUES, DEPENDING ON
EFFECTIVENESS AND EFFICIENCY, OF ARENISCA IN THE AREA OF
CANTABRIA**

Para acceder al título de:

Grado en Ingeniería de los Recursos Mineros

Autor: José Obregón Arana

Director: Noemi Barral Ramon

Convocatoria: febrero 2020



Estudio de selección de técnicas de extracción, en función de eficacia y eficiencia, de areniscas en el área de Cantabria

Índice

ÍNDICE DE TABLAS	4
ÍNDICE DE GRÁFICOS	5
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	6
1. INTRODUCCION	8
2. OBJETIVOS.....	14
2.1. ALCANCE DEL ESTUDIO	14
2.2. DEFINICION DE OBJETIVOS	15
3. ESTADO DEL ARTE	16
3.1. TIPOS DE ROCA ORNAMENTAL	16
3.1.1. Granito	17
3.1.2. Pizarra	19
3.1.3. Mármol.....	21
3.2. TIPOS DE CANTERAS	24
3.2.1. Canteras en foso sobre terreno llano	25
3.2.2. Canteras en terrenos con pendiente	29
3.2.3. Canteras en terrenos montañosos	29
3.2.4. Canteras subterráneas.....	30
3.3. TÉCNICAS DE EXTRACCION	31
3.3.1. Hilo diamantado	32
3.3.1.1. Características.....	33
3.3.1.2. Metodología	35
3.3.1.3. Maquinaria	38
3.3.1.4. Ventajas y desventajas	39
3.3.1.5. Resumen.....	40
3.3.2. Corte con rozadora de brazo	40
3.3.2.1. Características.....	40
3.3.2.2. Metodología	41
3.3.2.3. Maquinaria	45
3.3.2.4. Ventajas y desventajas	49
3.3.2.5. Resumen.....	49
3.3.3. Perforación con barrenos de proximidad	50
3.3.3.1. Características.....	50



3.3.3.2.	<i>Metodología</i>	50
3.3.3.3.	<i>Maquinaria</i>	53
3.3.3.4.	<i>Ventajas y desventajas</i>	53
3.3.3.5.	<i>Resumen</i>	53
3.3.4.	Empujador de almohadilla y cuñas	54
3.3.4.1.	<i>Características</i>	54
3.3.4.2.	<i>Metodología</i>	54
3.3.4.3.	<i>Maquinaria</i>	56
3.3.4.4.	<i>Ventajas y Desventajas</i>	57
3.3.4.5.	<i>Resumen</i>	57
3.3.5.	Corte con disco	58
3.3.5.1.	<i>Características</i>	58
3.3.5.2.	<i>Metodología</i>	58
3.3.5.3.	<i>Maquinaria</i>	60
3.3.5.4.	<i>Ventajas y Desventajas</i>	61
3.3.5.5.	<i>Resumen</i>	61
4.	METODOLOGIA DEL ESTUDIO	62
4.1.	VALORACION DE LAS TECNICAS	62
4.2.	SELECCIÓN DE LA TECNICA DE EXTRACCION FINAL	70
4.3.	APLICACIONES DE LAS TECNICAS DE EXTRACCION	70
5.	APLICACIÓN A CASO DE ESTUDIO	73
5.1.	LOCALIZACION	73
5.2.	CARACTERISTICAS	73
5.3.	METODO	74
6.	CONCLUSIONES	77
7.	BIBLIOGRAFIA	79



ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1.1. VENTAS DE ROCA ORNAMENTAL POR CONCENTRACION GEOGRAFICA.....	9
TABLA 1.2. EMPLEO DIRECTO DE ROCA ORNAMENTAL POR CONCENTRACION GEOGRAFICA.....	9
TABLA 1.3. EMPLEO INDIRECTO DE ROCA ORNAMENTAL POR CONCENTRACION GEOGRAFICA.....	9
TABLA 1.4. EXPORTACIONES DE ROCA ORNAMENTAL POR CONCENTRACION GEOGRAFICA	10
TABLA 1.5. IMPORTACIONES DE ROCA ORNAMENTAL POR CONCENTRACION GEOGRAFICA	11
TABLA 1.6. PRODUCCION DE ROCA ORNAMENTAL EN CANTABRIA	12
TABLA 3.1. PROPIEDADES DEL GRANITO	18
TABLA 3.2. PROPIEDADES DE LA PIZARRA.....	20
TABLA 3.3. PROPIEDADES DEL MARMOL	22
TABLA 3.4. USOS Y CARACTERISTICAS TECNICAS DEL MARMOL	23
TABLA 3.5. CARACTERISTICAS DEL HILO DIAMANTADO PARA MARMOLES Y GRANITOS	38
TABLA 3.6. DISTRIBUCION DE BARRENOS PARA EL USO DE CUÑAS	55
TABLA 3.7. PROPIEDADES DE LA ROZADORA	60
TABLA 4.1. PROPIEDADES DE LA ROCA ORNAMENTAL Y APLICACIONES EN CONSTRUCCION	63
TABLA 4.2. CLASIFICACION DE LAS TECNICAS DE EXTRACCION Y LAS PROPIEDADES GEOMORFOLOGICAS	64
TABLA 4.3. PROPIEDADES DE LA ROCA ORNAMENTAL Y APLICACIONES EN CONSTRUCCION.....	71
TABLA 5.1. APLICACIÓN TEORICO-PRACTICA DE SELECCIÓN DE TECNICA DE EXPLOTACION.....	74



ÍNDICE DE GRÁFICOS

GRÁFICO 3.1. USOS Y APLICACIONES DEL GRANITO	19
GRÁFICO 3.2. USOS Y APLICACIONES DEL MARMOL.....	23



ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

ILUSTRACION 1.1. MAPA GEOLOGICO DE CANTABRIA.....	13
ILUSTRACION 3.1. VARIEDAD DE ROCAS ORNAMENTALES.....	16
ILUSTRACION 3.2. GRANITO.....	17
ILUSTRACION 3.3. PIZARRA.....	19
ILUSTRACION 3.4. CANTERA DE MARMOL.....	21
ILUSTRACION 3.5. CANTERA DE MARMOL.....	24
ILUSTRACION 3.6. GRUA DERRICK EN FOSO.....	25
ILUSTRACION 3.7. GRUA DERRICK.....	26
ILUSTRACION 3.8. CANTERA DE FOSO Y RAMPAS.....	27
ILUSTRACION 3.9. CANTERA CON RAMPA.....	28
ILUSTRACION 3.10. CANTERA CON PENDIENTE.....	29
ILUSTRACION 3.11. CANTERA DE MONTAÑA.....	30
ILUSTRACION 3.12. CANTERA SUBTERRANEA.....	31
ILUSTRACION 3.13. HILO DIAMANTADO.....	32
ILUSTRACION 3.14. CORTE CON HILO DIAMANTADO.....	33
ILUSTRACION 3.15. PERLINAS DE CAUCHO.....	33
ILUSTRACION 3.16. PERLINAS ELECTRODEPOSITADA.....	34
ILUSTRACION 3.17. PERLINAS SINTETICA.....	35
ILUSTRACION 3.18. CORTE CON HILO DIAMANTADO.....	36
ILUSTRACION 3.19. FASES DEL HILO DIAMANTADO.....	36
ILUSTRACION 3.20. HILO DIAMANTADO, CATENARIA INVERTIDA.....	37
ILUSTRACION 3.21. CORTE HORIZONTAL DE LA ROZADORA DE BRAZO.....	41
ILUSTRACION 3.22. CORTE VERTICAL DE LA ROZADORA DE BRAZO.....	42
ILUSTRACION 3.23. CORTE DE BLOQUES.....	43
ILUSTRACION 3.24. HUECO INICIAL CON CORTADORA DE BRAZO.....	43
ILUSTRACION 3.25. CORTE CON ROZADORA DE BRAZO.....	44
ILUSTRACION 3.26. ROZADORA DE BRAZO.....	45
ILUSTRACION 3.27. ROZADORA DE BRAZO, GIRO.....	45
ILUSTRACION 3.28. MINNING.....	46
ILUSTRACION 3.29. RIPPING.....	47
ILUSTRACION 3.30. ANGULO DE LAS PICAS.....	48
ILUSTRACION 3.31. TIPOS DE PICAS.....	48



ILUSTRACION 3.32. PERFORACION DE BARRENOS.....	50
ILUSTRACION 3.33. PERFORACION PRIMARIA.....	50
ILUSTRACION 3.34. PERFORACION SECUNDARIA.....	51
ILUSTRACION 3.35. REENCUADRE.....	51
ILUSTRACION 3.36. DIVISION DE BLOQUES.....	52
ILUSTRACION 3.37. JUMBO.....	53
ILUSTRACION 3.38. CUÑAS.....	54
ILUSTRACION 3.39. ALMOHADILLA HIDRAHULICA.....	56
ILUSTRACION 3.40. ALMOHADILLA NEUMATICA.....	57
ILUSTRACION 3.41. CORTADORA DE DISCO.....	59
ILUSTRACION 3.42. DISCO SOBRE ORUGA.....	60
ILUSTRACION 5.1 MAPA GEOLOGICO DE CABEZON DE LA SAL.....	73



1. INTRODUCCION

Durante los últimos años la situación económica de las empresas del sector de la roca ornamental en España [1] no ha tenido una evolución favorable debido a tres factores fundamentales.

- La crisis económica de 2008: esta crisis se focalizo más en el sector inmobiliario y la construcción, por lo que se vio afectado el sector de roca ornamental directamente.
- La globalización: debido a la mayor competencia entre mercados, las posibilidades de beneficio o/y exportación se ven afectadas.
- Las economías emergentes: países como China, India, Brasil o Rusia cuentan con una mano de obra bastante más barata que la presente en Europa, y aunque no presente la misma calidad que las empresas europeas, sus bajos costes las ponen en cabeza.

Ante todas estas circunstancias desfavorables para las empresas españolas de la roca ornamental, las únicas opciones posibles son:

- Modificar el sistema de marketing para potenciar su imagen nacional o internacional.
- Especialización empresarial en ciertos sectores, mejorando de esta forma la calidad de los productos reduciendo el número de los mismos
- Adaptación de los nuevos métodos y tecnologías presentes en el mercado, para conseguir reducir costes, mejorar en seguridad o/y aumentar la eficacia de la explotación.

El presente estudio se basará en la ampliación del último apartado, adaptación a los nuevos métodos y tecnologías, mediante información y clasificación de los diferentes métodos y su eficacia y eficiencia en los diferentes escenarios.

Por otro lado, la situación social de las explotaciones de roca ornamental en España es muy importantes, a pesar de reflejar únicamente el 0,16% del PIB. La mayor parte de las empresas dedicadas a la roca ornamental son empresas pequeñas, familiares normalmente, que tienen una mayor dificultad de adaptación a las nuevas tecnologías y mercados. Además de ser sectores centrados en las zonas de interior y del cual depende la mayor parte de la economía de la zona. El valor de las ventas se puede ver en el siguiente gráfico.



Tabla 1.1: ventas de roca ornamental por concentración geográfica. Fuente: Clúster Piedra

PRODUCCIÓN: CIFRA DE VENTAS Y CONCENTRACIÓN GEOGRÁFICA		
Comunidad Autónoma	Valor (miles de €)	Porcentaje/total
Andalucía	110.000	6,31%
Galicia	425.000	24,40%
C. Valenciana	885.000	50,80%
Región de Murcia	100.000	6,04%
Castilla León	135.000	7,75%

En relación al empleo en las siguientes tablas se puede apreciar el número de puestos de trabajo creados.

Tabla 1.2 :empleo directo y concentración geográfica. Fuente: Clúster Piedra

EMPLEO DIRECTO Y CONCENTRACIÓN		
Comunidad Autónoma	Valor	Porcentaje/total
Andalucía	2.808	11,70
Galicia	3.097	17,42
C. Valenciana	3.468	19,50
Región de Murcia	794	4,47
Castilla León	1.033	5,81
Otras	7.311	41,11
	17.7783	100,00

Tabla 1.2: empleo indirecto y concentración geográfica. Fuente: Clúster Piedra

EMPLEO INDIRECTO Y CONCENTRACIÓN		
Comunidad Autónoma	Valor	Porcentaje/total
Andalucía	5.201	11,70



Estudio de selección de técnicas de extracción, en función de eficacia y eficiencia, de areniscas en el área de Cantabria

Galicia	7.743	17,40
C. Valenciana	8.669	19,50
Región de Murcia	1.986	4,50
Castilla León	2.582	5,80
Otras	18.278	41,10
	44.458	100,00

Y el número de exportaciones e importaciones a nivel nacional es el siguiente.

Tabla 1.3: Cifras de exportación por Comunidades Autónomas 2014 – 2016 (miles de €). Fuente: ICEX (ESTACOM)

EXPORTACIONES POR COMUNIDAD AUTONOMA					
Comunidad autónoma	Ranking	2014 (Miles €)	2015 (Miles €)	2016 (Miles €)	Variación 2015/2016(%)
Galicia	1	313.737,33	319.500,32	330.723,87	3,39
Comunidad Valenciana	2	357.774,71	353.812,07	323.428,01	-9,39
Andalucía	3	84.946,01	93.475,88	96.346,45	2,98
Castilla y León	4	81.3110,30	77.580,28	77.492,99	-0,11
Madrid	5	65.961,17	67.747,11	60.201,13	-12,53
Cataluña	6	54.157,23	51.636,87	52.692,01	2,00
Murcia	7	48.843,01	47.684,42	39.188,79	-21,68
País Vasco	8	19.622,97	24.422,66	18.473,51	-32,20
Castilla la Mancha	9	17.185,38	16.485,05	17.888,08	7,84
Aragón	10	18.536,74	17.075,29	16.599,11	-2,87
Cantabria	11	6.526,42	5.963,20	10.712,49	44,33



Extremadura	12	3.415,97	2.386,64	4.426,44	46,08
Baleares	13	217,65	1.489,18	2.759,20	46,03
Asturias	14	2.761,1	2.999,69	2.498,26	-20,07
Navarra	15	2.005,57	1.974,51	2.229,94	11,45
La Rioja	16	242,18	1.117,28	2.061,62	45,81
Canarias	17	378,68	397,11	716,74	44,59
Melilla	18	3,17	0,34	7,75	95,61
Total		1.077.425,59	1.085.747,92	1.058.446,41	-2,58

Tabla 1.4: Importaciones españolas de piedra natural por provincias (miles de €). Fuente: ICEX (ESTACOM)

IMPORTACIONES ESPAÑOLAS DE PIEDRA NATURAL POR PROVINCIAS (MILES DE €).				
Comunidad autónoma	2014 (Miles €)	2015 (Miles €)	2016 (Miles €)	Variación 2015/2016(%)
Galicia	40.155,30	53.774,40	60.161,77	11,04
Comunidad Valenciana	98.033,67	113.739,01	125.118,76	11,35
Andalucía	13.689,00	18.239,56	25.123,89	39,78
Castilla y León	4.713,35	5.235,82	4.710,78	-10,02
Madrid	9.315,63	10.881,23	13.202,43	23,45
Cataluña	32.611,86	33.259,56	51.522,06	54,51
Murcia	1.052,75	1.486,52	1.471,42	-1,02
País Vasco	25.801,41	27.798,80	26.135,61	-5,93
Castilla la Mancha	1.419,44	2.150,33	2.127,27	-0,81
Aragón	1.691,27	1.586,52	2.280,90	44,73
Cantabria	1.445,79	1.557,26	1.461,61	-6,74



Estudio de selección de técnicas de extracción, en función de eficacia y eficiencia, de areniscas en el área de Cantabria

Extremadura	956,39	684,71	218,89	-68,03
Baleares	1.985,83	1.110,38	1.765,39	58,31
Asturias	8.612,78	8.015,87	6.579,97	-17,64
Navarra	1.027,27	818,22	779,05	-6,05
La Rioja	626,61	431,91	607,73	41,02
Canarias	6.678,61	7.174,40	7.716,03	7,55
Melilla	508,71	555,38	791,06	42,44
Sin identificar	3.684,33	3.780,94	4.306,63	13,90
España	254.013,86	292.291,59	336.086,47	15,52

Por lo reflejado en las tablas anteriores se puede comprobar el aumento significativo que ha tenido Cantabria en el número de exportaciones, un 44,33%. También ha sufrido una gran disminución de producción a raíz de los factores antes descritos.

Tabla 1.5: Fuentes: <https://sedeaplicaciones.minetur.gob.es/minerva/>

Producción(kt)										
Caliza ornamental	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Cantabria	14	10	5	5	5	3	9	4	3	2
Cantabria	14	10	5	5	5	3	9	4	3	2

Esto refleja la necesidad de adaptarse a las nuevas tecnologías y focalizarse en rocas de mayor presencia en la región, como puede ser las areniscas del Cretácico y del Triásico presentes en la zona del Escudo y el valle de Cabuérniga.

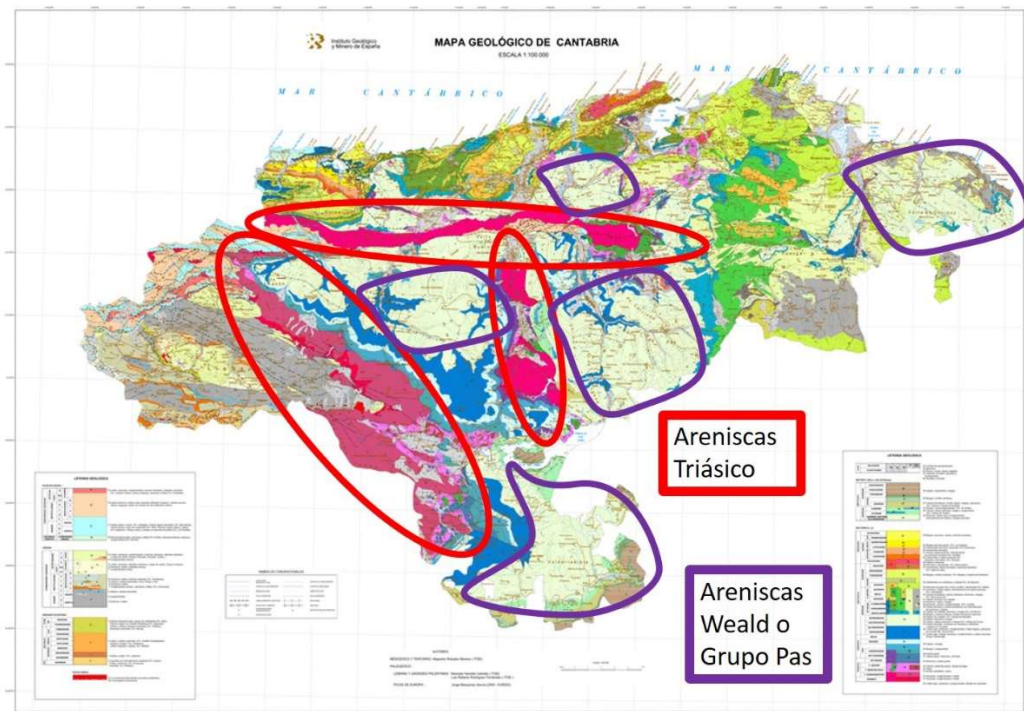


Ilustración 1.1: Mapa de Cantabria, zonas de arenisca: facies Weald (Cretácico) y las areniscas del Triásico (Bundsantein). Fuente: Gema Fernández Maroto



2. OBJETIVOS

2.1. ALCANCE DEL ESTUDIO

En este estudio se explicará y describirá los métodos de extracción de roca ornamental en función de diferentes criterios que nos definirán la eficacia y eficiencia de cada uno de los métodos. Posteriormente se concretará cuál de estos métodos pueden ser las mejores opciones para una explotación de areniscas en Cantabria.

Se especificará los diferentes tipos de roca ornamental más utilizados, además de su formación geológica y situaciones más comunes de la mineralización.

De la misma forma se precisará cuáles son los tipos de explotación más comunes para este tipo de extracción, como puede ser la grúa Derrick o las rampas con foso. En cada una de ellas se determinará cuáles son las condiciones necesarias para su empleo más eficaz y eficiente.

Entre los criterios utilizados para definir la zona de actuación y el tipo de roca ornamental se contará, con el tipo de morfología del terreno, las características geológicas, niveles de estratificación, tamaño de la mineralización,

Dentro de las técnicas de extracción se tendrá en cuenta los métodos más utilizados, como puede ser el corte con hilo diamantado o el método finlandés, exponiendo algunos ejemplos de en qué casos pueden ser más eficaces y eficientes. Para definir estos métodos se tendrá en cuenta tanto las características que describen a los métodos, como su metodología o la maquinaria necesaria para su implementación.

Una vez definidos todos los métodos de extracción, se procederá a la implementación de dichos métodos en un caso práctico de una explotación de arenisca en la zona de Cantabria. En dicho proceso se compararán los diferentes métodos clasificándolos con una puntuación numérica que definirán cuál de ellos es la mejor opción en este caso concreto.

Cuando quede definido el mejor método de extracción de la arenisca se desarrollará una serie de planos en 2D y 3D que harán referencia a grandes rasgos de como quedaría definida la supuesta explotación de arenisca con el método seleccionado, teniendo en cuenta las características geológicas específicas del terreno, así como la topografía de la zona.

Para finalizar se desarrollará un documento que contendrá las conclusiones sobre el estudio, para poner en valor las decisiones tomadas y su aplicación en casos prácticos como el definido, específicamente en el caso de la arenisca en la zona de Cantabria.



2.2. DEFINICION DE OBJETIVOS

Según lo avanzado en la introducción y el alcance de objetivos, este estudio se centrará en los siguientes aspectos:

- Se estudiarán, describirán y definirán los métodos de extracción utilizados en la actualidad, con referencia a las innovaciones tecnológicas más utilizadas.
- Se determinará, mediante una clasificación numérica, la eficacia y eficiencia de los métodos.
- Se clasificará la eficacia y eficiencia de los métodos en diferentes escenarios, para definir en cual se desenvuelve mejor cada método
- Debido a la importancia social y económica, se definirá un ejemplo práctico de una explotación de arenisca en Cantabria, en las zonas de Cabuérniga o el Escudo.



3. ESTADO DEL ARTE

3.1. TIPOS DE ROCA ORNAMENTAL

La “*roca ornamental*” se puede definir como las rocas formadas por un conjunto de minerales, que debido a sus características visuales o de textura, y a sus propiedades físico-químicas, destacando las propiedades de fragmentación y pulido, son de gran aprecio para engalanar todo tipo de edificaciones[2]. Además de presentar un corte o devastación y estando elaboradas o no una o varias caras para su uso estético.

Dentro de las rocas ornamentales las más importantes son los mármoles, las



Ilustración 3.1: Variedad de Rocas Ornamentales. Fuente: todocoleccion

pizarras y los granitos, aunque hay otras rocas como calizas y areniscas que dependiendo de la zona también son de gran interés.

3.1.1. Granito

El granito es una roca ígnea plutónica, esto quiere decir, que dentro de un plutón; intrusión de la lava volcánica formando un espacio en el que es contenida, se produce la “cristalización fraccionada”, que describe un efecto físico en el cual los materiales con menor contenido en sílice, denominados máficos, descienden o se decantan mientras los que tienen mayor contenido de sílice, denominados ácidos, se concentran en las partes superiores. Los minerales metálicos sufren el mismo efecto que los máficos por lo que casi no se encuentran en las zonas superiores.



Ilustración 2.2: Granito. Fuente: depositphotos

Por lo descrito anteriormente, el granito queda caracterizado por estar formado por sílice, pero como es un componente bastante diverso en tipos de formación, se dice que en general el granito está formado por cuarzo, plagioclasas, micas y feldespato, todos ellos de sílice, [3]pero con diferentes estructuras atómicas y contenido de minerales, aunque estos últimos en bajas proporciones, lo que da unas características especiales al granito de brillo, fragmentación y pulido.

En función de la cantidad de feldespato o plagioclasas que tenga se pueden dividir en tres tipos:

- a) Granitos de feldespato alcalino: más del 90% es feldespato
- b) Sienogranito: más del 65% es feldespato.
- c) Monzogranito: si tienen igual proporción de plagioclasas que de feldespato.

Debido a que la formación de los yacimientos graníticos es de origen ígneo se pueden dar dos maneras para su formación:



- a) Que el magma avance de manera intrusiva por la corteza terrestre, moviendo las tierras periféricas y creando una nueva falla, hasta que alcance el exterior, algo bastante extraño, o hasta que pierda “fuerza” y se disponga a la cristalización fraccionada.
- b) Que ya exista una falla o fractura por la que el magma asciende sin oposición hasta que se solidifica.

Por norma general los granitos se forman en el interior de la corteza terrestre, y su enfriamiento es muy lento, por eso se forman los cristales que son característicos de este material, porque su lenta formación hace que los elementos puedan juntarse apropiadamente. Esta textura se denomina Textura Cristalina.

Aunque esta roca se forme en interior podemos encontrar afloramientos de la misma a causa de los movimientos sufridos por las placas tectónicas, que en la formación de las montañas y otras formaciones geológicas elevan a la superficie muchas de estas rocas y minerales.

Tabla 3.1: Propiedades del Granito

Densidad	2.6-2.7g/cm ³
Resistencia a compresión	1500Kg/cm ²
Color	variado
Dureza (escala Mosh)	6-7
Textura	cristalina
Abrasión	Muy alta

Los usos del granito tienen una gran variedad, pero su empleabilidad en un sector u otro depende de varias características de la propia roca. Por ello hay que someter a los granitos a una serie de pruebas, según la normativa vigente, que nos definen las características específicas del granito con el que se trabaja para así designar la utilidad de la misma. Entre las diferentes normativas se encuentran la [4] Norma UNE 22-172-86(peso específico y coeficiente de absorción), Norma UNE 22-175-85(Resistencia a compresión), Norma UNE 22-176-85(resistencia a flexión), Norma UNE 22-173-85(resistencia al desgaste por rozamiento), Norma UNE 22-179-85(Resistencia al impacto), Norma UNE 22-174-85(resistencia a las heladas), Norma UNE 22-197-85(Resistencia a los cambios térmicos).

La utilización de esta roca es mayoritaria en revestimientos exteriores, por su capacidad arquitectónica, como por su vistosidad. Pero también se emplea en solados, chimeneas, objetos decorativos...

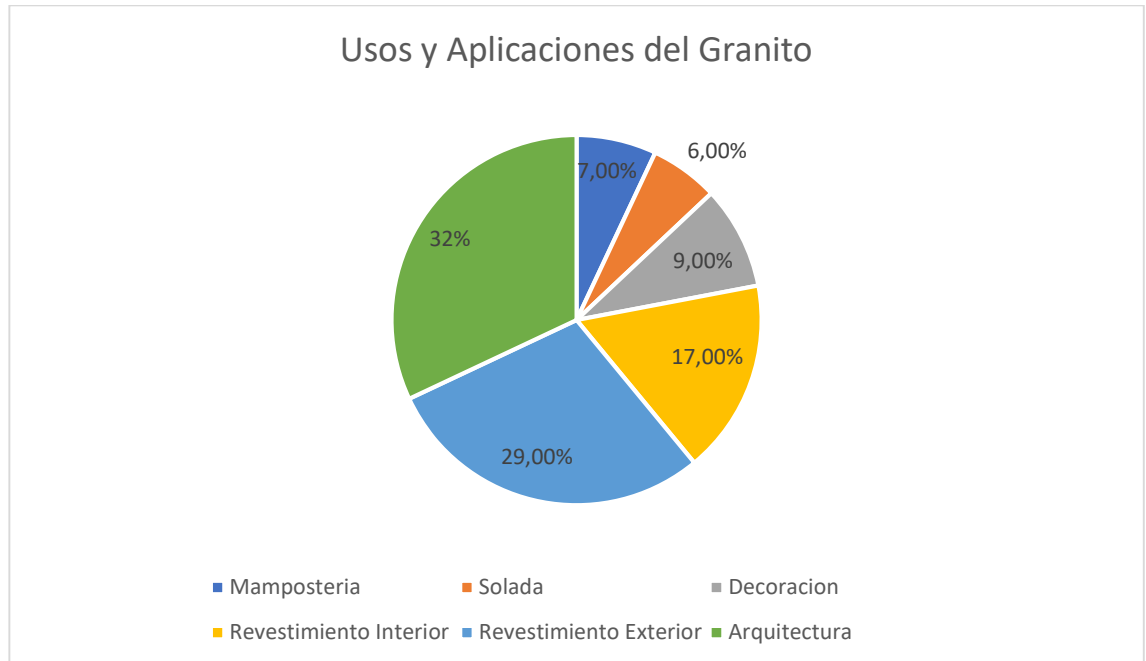


Gráfico 3.1: Usos y aplicaciones del granito

3.1.2. Pizarra

La pizarra es una roca metamórfica, esto nos indica, que para su formación ha debido de sufrir grandes cambios de presión y temperatura. La roca que sufre la metamorfosis suele ser lutitas, rocas sedimentarias formadas por arcillas, limos y material orgánico. Esta roca sufre grandes aumentos de temperatura y presión debido a [5]:



Ilustración 3.3: Pizarra. Fuente: Bernal Jardin



Estudio de selección de técnicas de extracción, en función de eficacia y eficiencia, de areniscas en el área de Cantabria

- a) Metamorfismo regional: se da en grandes extensiones y se produce en el interior de la corteza terrestre debido a los movimientos de las placas tectónicas
- b) Metamorfismo de contacto: se produce debido a intrusiones magmáticas a altas temperaturas que además de producir anatexia, intercambio de minerales entre la intrusión y la roca encajante, se producen cambios directamente por el aumento de la temperatura en contacto con la roca.
- c) Metamorfosis dinámica: es sufrida cuando hay una falla que produce grandes cambios de presión y temperatura. Está asociado a la orogenia.

Estas condiciones hacen que en una primera fase la textura se vea modificada debido a realineación de los minerales lo cual genera la propiedad de esquistosidad característica de esta roca.

La formación de esta roca es en la epizona. Según la clasificación de Eskola de metamorfismo en función de la temperatura y profundidad, que lo divide en tres grupos la epizona, mesozona y catazona.

La epizona es la zona más superficial en la que la temperatura es inferior a los 300°C, y en la que se ha sufrido mucha acción de cizalla.

Tabla 3.2: Propiedades de la Pizarra

Densidad	2,7-2,8g/cm ³
Resistencia a flexión	300-550Kg/cm ²
Color	Verde oscuro
Dureza (escala Mosh)	varia
Textura	foliada
Abrasión	normal

Los usos más comunes de las pizarras son para cubiertas de tejas, solados y revestimientos. Aunque para su utilización en estos campos debe cumplir una serie de características como son: la exfoliación milimétrica de las capas, para la formación de tejas y losas de calidad, sin fracturas, y una composición ausente de sulfuros de hierro o carbonatos, para evitar la corrosión del material y no perder su vistosidad. Las pizarras que cumplan esto en menor medida se pueden utilizar en el arte funerario, decoración y mampostería.

3.1.3. Mármol

El mármol es una roca metamórfica formada por calizas y dolomía, aunque en mayor contenido del primero. Esto es debido a que la formación del mármol debe ser con contenidos superiores al 90% de carbonato cálcico, elemento que tienen en gran medida estas dos rocas.

El mármol se forma por el sometimiento de la roca caliza a condiciones de presión y temperatura extremas, debidas a varios factores como los definidos en la sección de la pizarra. Estas condiciones producen la transformación de la roca, así como el cambio de minerales secundarios que contiene y que tras el metamorfismo serán los



Ilustración 3.4: Cantera de Mármol. Fuente: info@grupomos.com

que definan las características físicas y químicas, que hacen que el mármol sea de diferentes calidades y propiedades.

Dentro de la clasificación de mármoles se suele generalizar teniendo en cuenta también cualquier roca calcárea que tenga facilidad de pulido.[6] Debido a esto se pueden clasificar los mármoles en tres grupos:

- A. La recristalización de calizas: este es efecto más importante de todos, y se debe a un metamorfismo regional, que en función de la profundidad y presión sufre este efecto. Se caracteriza por ser un proceso lento, por lo que los elementos que se forman se pueden juntar más ordenados, formando cristales más grandes, denominados “fenocristales”.
- B. Las travertinas: se producen a partir de la precipitación cálcica en zonas calientes. En zona kárstica, se caracteriza por la disolución del carbonato cálcico,



Estudio de selección de técnicas de extracción, en función de eficacia y eficiencia, de areniscas en el área de Cantabria

el cual, si se deposita en zonas termales o cascadas, forma esta roca, de aspecto suave que suele ser blanco o amarilla.

- C. Las marmolónicas: esta roca se forma muy asemejada a la anterior, la diferencia recae en la zona de precipitación del carbonato cálcico, en el anterior era en zonas cálidas y este es en zonas frías, como cuevas y cavernas o zonas de corrientes superficiales, que hacen que se precipiten en formas alargadas y fibrosas, como las estalactitas y estalagmitas, aunque también puede formar el suelo y las paredes de las mismas.

Aunque debido al tema de este estudio solo se tendrá en cuenta los mármoles definidos petrológicamente de esta forma, que serán los del apartado A, los formados por recristalización de calizas. Esta roca siempre se encuentra en formaciones masivas, y las formaciones más comunes suelen ser estratiformes debido a los metamorfismos regionales, aunque también se pueden encontrar de forma discontinua o dispar, debido a los posibles procesos tectónicos, intrusiones ígneas... pueden desplazar y diseminar un yacimiento antes uniforme.

El mármol se caracteriza por tener unas propiedades visuales y de textura muy apreciadas además de una facilidad para el pulido y el fraccionamiento en capas cuasi paralelas.

Por lo explicado aquí y por otro tipo de propiedades, el mármol es en norma general la roca para todo tipo de ornamentaciones por todo el mundo, destacando antiguas edificaciones que aún perduran y que son grandes reclamos artísticos.

Tabla 3.3: Propiedades del Mármol

Densidad	2.6-2.8g/cm ³
Resistencia a compresión	600-1000Kg/cm ²
Color	blanco
Dureza (escala Mosh)	3-4
Textura	Grano fino a grueso



Abrasión	normal
----------	--------

Los usos más generalizados de este tipo de rocas son la pavimentación y el



Gráfico 3.1: Usos y aplicaciones del mármol. Fuente: Manual de rocas ornamentales

revestimiento exterior e interior, además de un uso menos destacable en arte funerario. También tiene otras utilidades como la obra civil, pero las anteriores funciones abarcan casi todo el mercado.

Además, hay que tener siempre en cuenta, que la empleabilidad de una roca ornamental para un tipo específico de uso, sea cual sea, esta tendrá que cumplir con una serie de requisitos. Por ejemplo, para zonas frías o húmedas las pruebas de heladicidad toman mayor importancia o si es exterior o interior las resistencias a flexión tienen que ser mayores en el primero. [7] Por esto es necesario saber para que se empleara la roca para buscar una acorde a lo demandado o se puede estudiar la roca y a partir de ello definir cuál es su uso más rentable.

Tabla 3.4: Usos y características técnicas. Fuente: Roca ornamental

UTILIZACIONES	CARACTERISTICAS TECNICAS									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Revestimiento exterior	**	**	**	**	***	**	**	*		*
Revestimiento interior	**	*	*	*		*				
Pavimentos exteriores	**	**	**	**	***	**	**	***	***	***



Estudio de selección de técnicas de extracción, en función de eficacia y eficiencia, de areniscas en el área de Cantabria

Pavimentos interiores	**	*	*	*		**		***	***	***
Escaleras en vanos	**	*	*	**		***		***	***	***
Techados	**	***	***	**		**		*	**	*

- | | | |
|---|--------------------------------------|--------------------|
| 1. Peso específico aparente | 6. Resistencia a flexión | Grado de interés |
| 2. Absorción de agua | 7. Coeficiente de dilatación térmica | * Poco importante |
| 3. Porosidad aparente | 8. Resistencia al desgaste | ** Importante |
| 4. Resistencia a compresión | 9. Resistencia al choque | *** Muy importante |
| 5. Resistencia a compresión después de la heladicidad | 10. Microdureza Knoop | |

3.2. TIPOS DE CANTERAS

En la ejecución de la extracción de la roca nos podemos encontrar frente a diferentes escenarios referentes al estilo o método escogido para realizar la extracción en función de la morfología del terreno. A continuación, se detallará brevemente los diferentes tipos de canteras que podemos encontrar en función de en qué terreno estén localizadas.



Ilustración 3.5::Cantera de Mármol. Fuente: Focus Piedra

De la misma forma se detallará brevemente la maquinaria necesaria para realizar este tipo de actuaciones. En este sentido se hablará de las caracterizadas generales de las máquinas sin entrar en los diferentes tipos según las marcas.

3.2.1. Canteras en foso sobre terreno llano

Las canteras en foso sobre terreno llano, son debidas a grandes yacimientos en masa estratiformes, como ya se definió con anterioridad.

Estos yacimientos son los más óptimos en general debido a sus buenas condiciones de localización, esto hace que la extracción de estos yacimientos sea más sencilla, a parte de la facilidad de cálculo del tamaño y dimensión de la formación rocosa. Estas condiciones hacen de estos yacimientos los más explotados y rentables de todos, en función de la morfología y forma del yacimiento.

Siguiendo estas directrices encontramos dos métodos claramente destacables en canteras de foso llano, descritos a continuación. [8]

Canteras de foso y extracción con grúa

La extracción en canteras de foso con extracción con grúa es un método que depende exclusivamente de las grúas de extracción, esto es debido a que los taludes que conforma la explotación son verticales o subverticales, esto obliga a introducir y extraer toda la maquinaria y el material por medio de la grúa. [9]



Ilustración 3.6: Grúa Derrick en foso. Fuente: aragonitoazul

El personal que trabaja en la explotación accede a la cantera mediante escaleras fijas situadas en los taludes.



Estudio de selección de técnicas de extracción, en función de eficacia y eficiencia, de areniscas en el área de Cantabria

Uno de los problemas de este tipo de excavación es el drenaje, ya que, al estar ejecutando una obra similar a un pozo, esto nos obliga a expulsar el agua para realizar las labores de extracción correctamente, con bombas o redirigiendo o conteniendo el nivel freático, si la geología del terreno es adversa en este sentido.

La maquinaria a emplear fundamental en este tipo de canteras es la grúa, que debe contar con ciertas características, como son:

- alta capacidad de carga
- gran estabilidad
- buena maniobrabilidad
- rentabilidad a largo plazo

En este sentido una de las grúas más eficaces para este tipo de labores, es la grúa Derrick.

Se caracteriza por tener un mástil fijo anclado en una plataforma sostenida a través de dos tirantes que forman un tetraedro. En la parte trasera está situada la pluma, que podrá variar el tonelaje del contrapeso, con una corona giratoria que permite girarla. En la parte superior del mástil fijo está colocado otro brazo móvil mediante dos tirante superior e inferior que permiten la versatilidad de movimientos.



Ilustración 3.7: Grúa Derrick. Fuente: Explotación de Rocas Ornamentales

El inconveniente de esta grúa se debe a que la capacidad del mástil está limitada a 270^a, a pesar de que puede ser suficiente movilidad, se puede modificar para ganar

mayor ángulo colocando diferentes sistemas de tirantes alrededor del mástil. Esta grúa puede cargar hasta 200 toneladas, y desplazarse 20 metros, además de existir diferentes combinaciones y opciones, que abre todo un abanico de posibilidades con esta grúa.

Canteras en foso y rampa de acceso

El método de la cantera de foso con rampa de acceso, como su propio nombre indica, se trata de un planteamiento en el que se prescinde de maquinaria para la inserción de la misma o del material, y se presenta una distribución de rampas a lo largo



Ilustración 3.8: cantera de foso y rampas. Fuente: Explotación de Rocas Ornamentales

de toda la explotación, tanto para el personal como para la maquinaria que ayudaran a la extracción y transporte del material. [10]

Una de las principales causas para el uso de este método es la imposibilidad de uso de grúas, así como una distribución del yacimiento que nos permita posicionar las rampas sobre partes del mismo de peor calidad, mediante el soterramiento de estos para crear las rampas acordes con la normativa para la circulación de vehículos que nos servirán de transporte. De esta forma se puede colocar maquinaria con neumáticos, que facilitara la versatilidad de esta, así como el ahorro de tiempo en los desplazamientos.

Al igual que con la opción anterior uno de los mayores problemas que se tiene es el drenaje.

Dentro de la maquinaria necesaria para la ejecución de la laboral, hay mucha variedad debido a que esta se basara en el transporte del material, para el cual, dependiendo del tamaño de la excavación, de la producción o del trayecto seleccionado



Estudio de selección de técnicas de extracción, en función de eficacia y eficiencia, de areniscas en el área de Cantabria

puede variar considerablemente. Pero se explicarán los principales vehículos de transporte para esta opción.



Ilustración 3.94: cantera con rampa. Fuente: www.euskadi.eus

Como se explicó antes esta operación cuenta con rampas por las que se puede acceder con neumáticos, por lo que cualquier tipo de vehículo puede circularlas, en este sentido se puede optar por usar camiones de transporte extra largos y descubiertos, sobre los que depositar los bloques de las canteras, no son de gran capacidad por volumen y peso y difícil maniobrabilidad, pero usar otro tipo de vehículos, como dumperes, no sería tan eficaz por el daño que sufriría la caja y el material.

3.2.2. Canteras en terrenos con pendiente

Las canteras en terrenos con pendiente son debidas, a el movimiento geológico que ha desplazado la zona mineral hasta situarla en una zona en pendiente, laderas de montaña. [11]

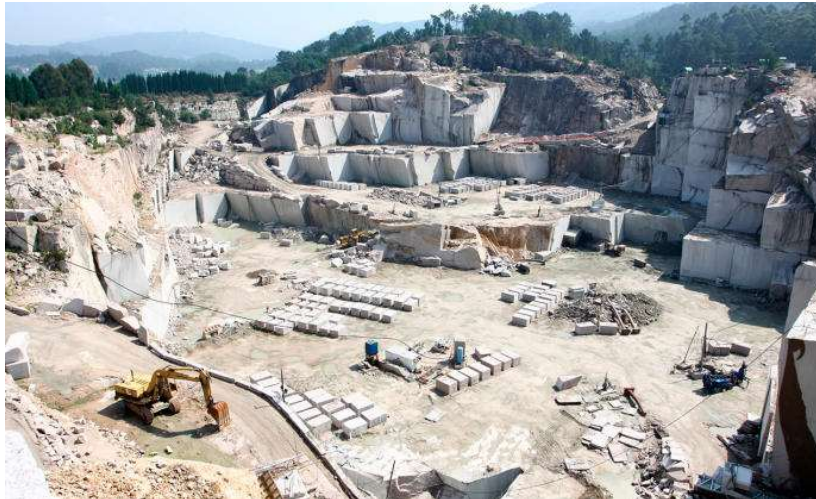


Ilustración 50:Cantera en pendiente. Fuente: Faro de Vigo

Este tipo de mineralizaciones tienen una desventaja enorme, que es la distribución o posicionamiento de las pistas de acceso, las cuales, por necesitar cumplir una legislación que les estipula las pendientes máximas a las que se pueden construir dichos accesos, esto dificulta bastante su colocación, llegando a compartir explotaciones de la misma zona, los mismos accesos por ser imposible crear nuevos o por las dificultades de las maniobras para los vehículos.

En este tipo de canteras, se puede comenzar la explotación de dos formas diferentes, se podrá comenzar por la parte inferior de la pendiente, y avanzar hacia arriba creando los diferentes taludes hasta alcanzar el talud final. Por otra parte, se puede comenzar por la parte superior, creando el talud final desde el principio y explotando desde esa zona en vertical.

3.2.3. Canteras en terrenos montañosos

Las canteras en terrenos montañosos, son yacimientos situados en las cumbres de las montañas debido, como en las canteras en terrenos con pendiente, al movimiento geológico que hace desplazar la mineralizaron, pero de una forma más agresiva que hace que se sitúe en las zonas más altas de los cerros. Este tipo de explotaciones tienden a la nivelación del terreno, debido a dos fuentes destacables, la construcción de accesos seguros a la explotación y la extracción del estéril acopiado en el terreno en desnivel. [12]



Ilustración 3.16: cantera en montaña. Fuente: Focus Piedra

3.2.4. Canteras subterráneas

Las canteras subterráneas son canteras que, debido a su potencial económico y técnico, es rentable la explotación de la roca por métodos subterráneos. Esto puede ser tanto por su valor económico, que compensa las labores de creación y extracción de la roca por debajo del nivel del terreno. O puede ser por valores técnicos además de los económicos, como los diferentes impactos visuales o ambientales que pueda tener una explotación a cielo abierto. [13]



Ilustración 3.72: Cantera Subterránea. Fuente: Litosonline.com

Esta técnica no se suele emplear para la extracción de roca ornamental por norma general, aunque en la actualidad, debido a auge de la protección del medio ambiente o el impacto social de visualizar las canteras, pone de manifiesto que este método es cada vez menos descartable. Además de poder utilizar los huecos excavados, una vez finalizada la explotación, para diferentes finalidades, como almacenamiento de material o reacondicionamiento de la misma para otros usos, como por ejemplo sociales o educativos.

3.3. TÉCNICAS DE EXTRACCION

Durante los próximos apartados se definen los diferentes métodos que existen para la extracción de roca ornamental de forma correcta y segura. Estos métodos estarán condicionados por diferentes variables, como la económica, la salubridad de la operación, tipo de maquinaria, ... A continuación, se abarcarán todas las características



a tener en cuenta en cada una de las metodologías de extracción. Clasificando estos métodos de extracción en función de la maquinaria a emplear, y no ajustando la clasificación a los tipos de bancos, por ejemplo. Aun así, en cada tipo de método de extracción se definirán que partes de esas otras clasificaciones están contenidas en cada maquinaria.

En función de las características de la roca y la formación del terreno, condicionan el método de explotación y el método de arranque. En general se suele avanzar de arriba hacia abajo, aunque hay casos de abajo hacia arriba por lo antes descrito. En función de esto podemos encontrar.

Bancos altos, se aplica en yacimientos masivos de granito, mármol y caliza. Suele variar entre una altura de 3-15 metros, es necesario unas etapas de subdivisión del macizo (bloque general, subdivisión, tratamiento...) y definir la dimensión de la bancada que puede ser: clásica(10x10x1-3m) gran bloque(4-8x4-8x4-8m) y bancada larga para yacimientos sedimentarios, con poco espesor y sin fracturar. Para cualquier dimensión de la bancada se puede usar como métodos de extracción el hilo diamantado, perforación y voladura, chorro de agua, lanza térmica.[14]

Banco bajo, se aplica a yacimientos masivos poco profundos y poco fracturados, su característica principal es que la altura de banco es la del bloque comercial, que se extrae directamente, mediante métodos como la rozadora de brazo, perforación y voladura con cordón detonante y cuñas. Este método es más versátil y más seguro que los bancos altos.

3.3.1. Hilo diamantado

El hilo diamantado es uno de los muchos tipos de elementos de corte que se crearon a raíz de la sinterización del diamante. Este hecho abrió un número de oportunidades en la creación de métodos de corte, como fueron los discos diamantados o la lámina de diamante sintético. Sin embargo, estas creaciones fueron eclipsadas por la creación del hilo diamantado en 1980. Fue probado en la cantera de Carrara, demostrando su gran efectividad, sustituyendo, a partir de ese momento, al hilo helicoidal. Con este suceso se empezó a amplificar los procesos para la mejora de este método, que actualmente tiene unas características bastante eficientes en este ámbito.



Ilustración 3.13: Hilo Diamantado. Fuente: www.durador.com.ar

3.3.1.1. Características

El hilo diamantado está formado por hilos de acero de 5mm de diámetro, que son trenzados. Después se insertan unas anillas diamantadas, denominadas “*perlinas*”, que normalmente, o desde su inicio, son de un tamaño no superior a los 11mm, aunque actualmente se pueden llegar a utilizar de 8mm, o incluso de 7,3mm. De esta forma se obtienen unos acabados mucho más precisos y menos agresivos sobre la roca. [14]



Ilustración 8: corte con hilo diamantado. Fuente: www.segeda.com

Actualmente, se han diseñado muchos tipos de hilos diamantados, clasificados por los tipos de uniones entre las perlinas, por los propios diámetros de estas o sus diferentes tipos, o por el tipo de corte, con agua o seco.... [15]

Tipos de unión: hace referencia a como están unidas las perlinas. Puede ser por:

- Caucho: la unión esta recubierta por caucho sintético, a este tipo se le atribuye una gran flexibilidad, facilita su empleabilidad y reduce el desgaste desigual de las perlinas. Su mayor mercado es la ingeniería civil.
- Plástico: la unión esta recubierta de plástico, este tipo destaca por tener un corte más preciso, sin marcas en la piedra, debido a que se suprimen las ondulaciones de esta forma. Su mercado es abierto, y la ingeniería industrial es uno de ellos.



Ilustración 9: Perlinas caucho. Fuente: www.chrome.sk



Estudio de selección de técnicas de extracción, en función de eficacia y eficiencia, de areniscas en el área de Cantabria

- Muelles: la unión está formada por muelles, hay una gran variedad de tipos y aleaciones en función de su empleabilidad, dependiendo de los tipos escogidos se obtendrán unas rentabilidades y velocidades u otras. Su empleo es en canteras.
- Plástico y muelles: este híbrido, combina ambos métodos para tener mayores ventajas en el acabado y el tipo de abrasión. Este tipo tiene gran versatilidad de usos actualmente.

Dentro de los tipos de perlinas, nos podemos encontrar dos tipos de las mismas:

- Electrodepositadas: el centro de la perlina está formada por acero, mientras que el diamante, formado por granos, es colocado por electrolisis. Al estar formado por electrolisis son menos resistente, por lo que su empleo principal es en rocas blandas.



*Ilustración 3.1610: Perlina
Electrodepositada. Fuente: Tyrolit*

- Sinterización: este proceso de fabricación consiste en la unión del centro de acero de la perlina con los polvos diamantados, y otros elementos metálicos, como hierro, cobalto, cobre o bromo para la correcta sinterización; mediante la compactación de estos a altas presiones para posteriormente ser sometidos a

altas



Ilustración 3.17: Perlinas sinterizadas. Fuente: Aper Diamond

temperaturas. De esta forma se consigue la unificación de las características de ambos elementos. Debido al número de posibilidades en las aleaciones que se pueden formar, este tipo tiene una gran versatilidad.

3.3.1.2. Metodología

Para comenzar hay que crear un hueco de apertura a partir del cual se realizaran diferentes labores, este hueco se denomina “trinchera”, y puede tener una forma geométrica triangular o rectangular. Para ello se realizan perforaciones de barrenos en las aristas opuestas del frente verticalmente, con diámetros de 90 a 140mm, y horizontalmente se realizan sendos barrenos en las esquinas del frente a extraer, teniendo en cuenta la longitud del barreno y el método empleado, martillo en cabeza o en fondo, de los que depende la dificultad de la actuación. Una vez perforado se introduce el hilo diamantado y se procede al corte. [16]

La forma triangular tiene la misma base, se realiza una perforación vertical en el vértice, con un diámetro entre 90-200mm, y dos perforaciones horizontales en unión con el vértice, después se inserte el hilo diamantado y se procede al corte. La diferencia es que solo se liberan dos caras por lo que se efectúan menos cortes y menos daño

posible a la roca, aunque su elaboración es más costosa, debido a que el hilo no corta, desde el principio, en una dirección rectilínea, por lo que el hilo se puede dañar.

Una vez liberado el hueco se puede comenzar con la extracción de los bloques, siguiendo un esquema similar al descrito para la creación del hueco; perforaciones horizontales y verticales para insertar el hilo diamantado y empezar el corte.

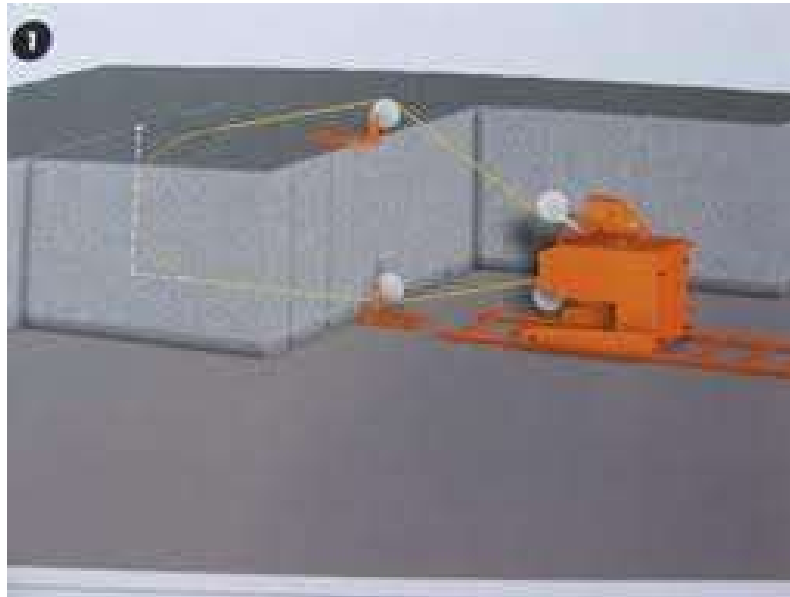


Ilustración 3.18: corte con hilo diamantado. Fuente: Distribuciones Pako

La técnica de extracción prosigue con la separación de un bloque de dimensiones considerables, que puede superar los 20-30 metros de largo y con 4-6 metros de alto y

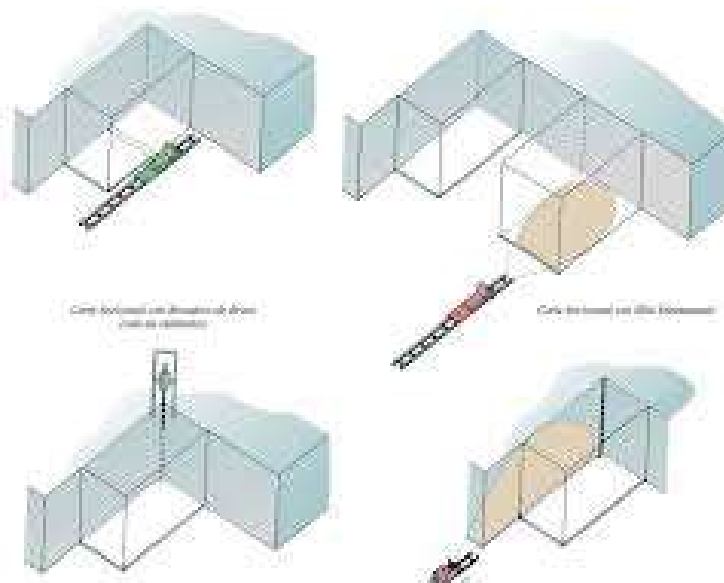
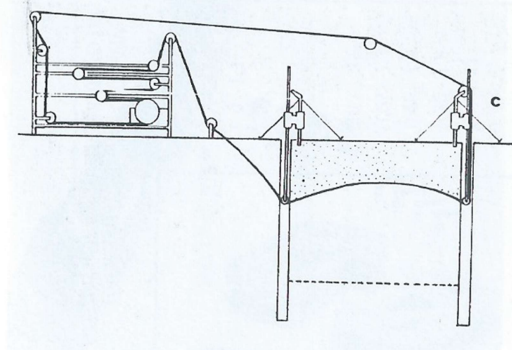


Ilustración 11: Fases hilo diamantado. Fuente: ocw.usual.es

ancho. Cuando este bloque es separado se procede a dividir el bloque inicial en otros de ámbito comercial, cuyas medidas pueden variar entre 1,90-3,30 metros de largo por 1-1,50 metros de ancho y 0,90-1,20 metro de alto. Este método permite una alta automatización del proceso, esto es porque el funcionamiento con hilo diamantado es sobre máquinas de poleas con diferentes carriles sobre las que se desplazan. Estas máquinas de poleas, en su mayoría eléctricas, están programadas para soltar el hilo a la vez que lo recogen, de esta forma el hilo roza contra la roca hasta que consigue separarla por abrasión, en general hay que rociarlas con agua para refrigerar, aunque no todas lo necesitan. Este sistema de carriles, permiten abarcar una extensión bastante amplia del proceso, sin necesidad de desplazamiento y reinstalación de los carriles.

Cuando la perforación horizontal ya no es posible para las características del corte, o se quiere aumentar la producción aumentando el número de hilos en funcionamiento, en general se aplica la técnica denominada “catenaria invertida”. Esta

1: vista posterior al frente de catenaria invertida



2: Vista lateral de catenaria invertida

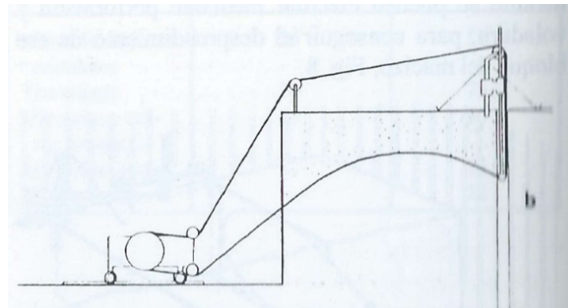


Ilustración 3.20: Hilo diamantado, catenaria invertida.
Fuente: Rocas Ornamentales

técnica se constituye de barrenos con diámetros de 200 a 350mm, a través de ellos se introducen poleas 10mm inferiores al diámetro. El proceso se basa en hacer deslizar el hilo diamantado a través de las perforaciones, las cuales, mediante las poleas, desplazan el hilo por los barrenos. Esta técnica desgasta más los útiles y también tiene velocidades menores, por ello se suele reservar para situaciones más complejas.

Las características que los hilos diamantados presentan para el corte de mármoles y granitos son:



Tabla 3.5: Características del hilo diamantado para mármoles y granitos. Fuente roca ornamental

	Granito	Mármoles
Longitud estándar(m)	<60	5,10,15
Hilos portadores(mm)	5	5
Perlinas	Electrolítica o de concreción	Concreción
Diámetro exterior(mm)	11	10
Numero de perlinas(m)	40	30-32
Separadores	Plástico inyectado	Resorte

3.3.1.3. Maquinaria

Existen diferentes tipos de maquinaria en función de cuál sea su sistema de funcionamiento. Se pueden separar en:

- **Equipos hidráulicos**

Su funcionamiento depende de poleas de transmisión y correderas, que deslizan el hilo diamantado para realizar el corte. La energía necesaria para realizar los giros de las poleas, se produce en una central hidráulica con diferentes caudales, uno variable para la polea y otro fijo para tensar el hilo. En general los motores para su funcionamiento son de 15-22,5 KW, con una velocidad de 23m/s y un rendimiento en travertino de 3-4m²/h.

La evolución en sistemas de circuito abierto mejoro los rendimientos, aunque también la potencia necesaria que llego a 30KW, con una velocidad de 38m/s y un rendimiento de 8m²/h.

Actualmente hay motores de mayor potencia, con mayores rendimientos, aunque también con mayor complejidad, por lo que no son los más utilizados.

- **Equipos eléctricos con contrapeso**

Probablemente el sistema más sencillo de todos, el cual se basa en un carro móvil que cuenta con la polea, el motor y los contrapesos situados al final del carril. La



potencia instalada llega a ser de 37,5KW y los rendimientos de 11m²/h. En contrapartida definir con precisión la tensión del hilo es bastante complicado, excepto si las explotaciones eran planas.

También en este tipo de sistemas se utilizaron los relés para controlar la tensión de hilo, aunque como en el caso anterior se tienen problemas para mantener constante el corte.

Otra opción es el uso de un sistema tensor que hace retroceder y avanzar el carril a través de un cabrestante al final del carril.

- **Equipos eléctricos automáticos**

Este sistema se basa en el uso de motores en el mismo grupo que suministra potencia a todos los movimientos necesarios para el trabajo. El desplazamiento por el carril se basa en el sistema de piñón cremallera que facilita el uso en suelos inclinados (máxima de 20%), así como la regulación de la velocidad en función de las necesidades del trabajo.

Los diámetros se han reducido para tener mayor rendimiento, se pasó de 1200mm de diámetro a 800mm. Así como el uso de paneles que ajustan la potencia necesaria para la tensión del hilo, según el operador y el procesador permite que esta potencia sea constante lo cual mantiene el consumo constante, además de optimizar rendimientos y evitar cualquier contratiempo debido a los sistemas de seguridad que permiten detener la máquina cuando se registra alguno de ellos.

Estos equipos pueden contener un diseño que permite el desplazamiento lateral de la polea motriz desde la misma posición, lo cual permite la extracción de nuevos bloques sin necesidad de construir nuevos carriles o sin tener que alinearlos con el corte.

- **Equipos híbridos**

Estos equipos funcionan con un motor eléctrico para las poleas de transmisión, a la vez que el sistema hidráulico se utiliza para tensar los hilos diamantados. Estos sistemas son independientes para poder tener mayor movilidad con los carros.

Estos sistemas son de 22,5KW por seguridad. Se utilizan relés para regular el hilo tensor, aunque esto aumenta las vibraciones, repercutiendo en un uso desequilibrado de las perlinas, por tanto, se necesitan mayores esfuerzos con peores rendimientos y mayor desgaste.

3.3.1.4. Ventajas y desventajas

Los hilos diamantados en su mayoría comparten las siguientes ventajas y desventajas:

Ventajas:



Estudio de selección de técnicas de extracción, en función de eficacia y eficiencia, de areniscas en el área de Cantabria

- Máxima seguridad
- Acabados limpios, sin polvo ni vibraciones
- Limpieza del escombros con gran facilidad
- Paneles de extracción del material reutilizables
- Ejecuciones rápidas
- Versatilidad de tipos de hilos facilita el uso en todo tipo de durezas

Desventajas:

- Mayor automatización para lograr mayores rendimientos
- Uso eficaz en zonas planas o de poca inclinación
- Uso en macizos de gran extensión para lograr rendimientos eficaces.

3.3.1.5. Resumen

En general podemos considerar que este método es de los mejores desarrollados hasta el momento, es un método eficaz y eficiente en la mayoría de situaciones. Su mayor desventaja es la colocación en terrenos llanos, debido a que muchas mineralizaciones no cumplen esta condición. Pero si se cumple esta condición, la mayoría de las veces viene en consecuencia que se trate de un macizo extenso lo cual ayuda a decantarse por este método.

En lo referente a la dureza, como se ha explicado anteriormente hay una gran cantidad de productos que nos permiten acondicionar la herramienta en función de la resistencia y la abrasión de la roca por lo que no suponen un problema.

La utilización general de este método se enfoca normalmente a rocas más duras como el granito, aunque su utilización es posible en cualquier otro tipo de roca.

En la actualidad también se usa para el corte de hormigón armado.

3.3.2. Corte con rozadora de brazo

3.3.2.1. Características

Este método se caracteriza por emplear una herramienta de corte auxiliada por un sistema de desplazamiento para la misma. La herramienta de corte suele ser una sierra con, dientes de tungsteno o diamantados, que deben ser afilados o sustituidos con frecuencia debido al desgaste.

El uso de este método dependerá tanto de la resistencia a compresión de la roca, no superar los 150Mpa, como de su porcentaje en sílice, máximo de 2%, ya que un alto

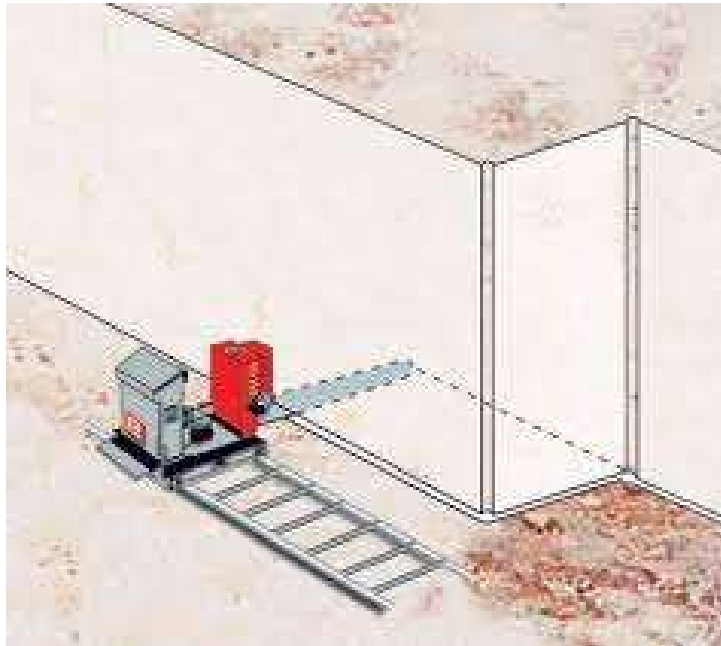


Ilustración 121: corte horizontal rozadora de brazo. Fuente: Mundo Minero

contenido de este mineral aumentará en gran medida el desgaste de las herramientas. En este sentido es mejor tener más resistencia a compresión que contenido en sílice, ya que con 150Mpa se puede lograr un rendimiento de entre 5-8m²/h, pero con un mayor contenido en sílice el gasto en herramientas de corte se dispara, teniendo en cuenta que normalmente el gasto en útiles de corte es alrededor del 70% del presupuesto, aunque hay muchas variantes de métodos, de tipos de roca, etc. [17]

Este sistema tiene altos rendimientos si se cumplen las características antes descritas en cuanto a las propiedades de la roca.

El brazo puede tener una longitud de hasta 3,3m y disponer hasta de 70 dientes.

3.3.2.2. Metodología

En exteriores siempre se utiliza el banqueo descendente. Mientras que la altura está limitada por la longitud del brazo. No es necesario subetapas, ya que los bloques extraídos ya son de tamaño comercial.

Antes de empezar las labores, hay que crear un hueco de trabajo a partir del cual poder cortar la parte inferior de los bloques.

El uso de esta herramienta se basa en el desplazamiento a través del macizo rocoso, a través de carriles o sistemas independientes como orugas, a la vez que el útil va cortando el macizo.



Estudio de selección de técnicas de extracción, en función de eficacia y eficiencia, de areniscas en el área de Cantabria

En terrenos horizontales, el hueco se genera, cortando perpendicularmente al suelo cuatro aristas, continuado de unos empujadores hidráulicos o neumáticos, que empujan el bloque hacia el lateral, separando la parte inferior del mismo. Para finalizar, generalmente se hace una perforación en el bloque para insertar un cable con el que extraerle mediante una grúa. Los carriles se colocarán después de nivelar el terreno, dañado tras la abrupta extracción. El espacio en este hueco debe contener a la maquinaria, por lo que deberá tener una longitud de 3-6m. Por último se realizan cortes verticales, perpendiculares al frente, a lo largo del banco, seguidos de los horizontales,

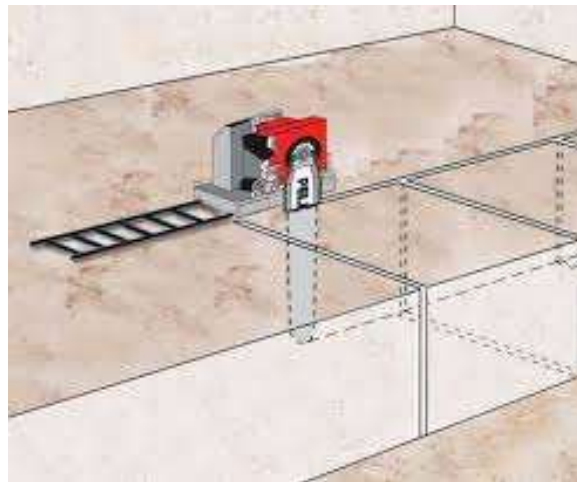


Ilustración 3.213: Corte vertical rozadora de brazo. Fuente Mundo Minero

finalizando con el vertical de la cara del talud y con las sucesivas subdivisiones verticales de los bloques comerciales.

También se ha generalizado el uso de técnicas combinadas, y en este sentido la más común con la rozadora de brazo es el hilo diamantado, sobre todo en canteras de mármol.

Las operaciones a seguir en dicho caso serán: el corte horizontal con la rozadora de brazo, debido a que es la única máquina que es capaz de cortar al nivel del suelo, perforación vertical de la arista oculta y corte con hilo diamantado a través de la perforación. El empuje se puede realizar con empujadoras neumáticas o hidráulicas.

Para la creación de un nuevo banco se siguen las mismas operaciones antes descritas con la diferencia de que el hilo diamantado se coloca en la parte superior para el corte de la parte posterior del bloque.

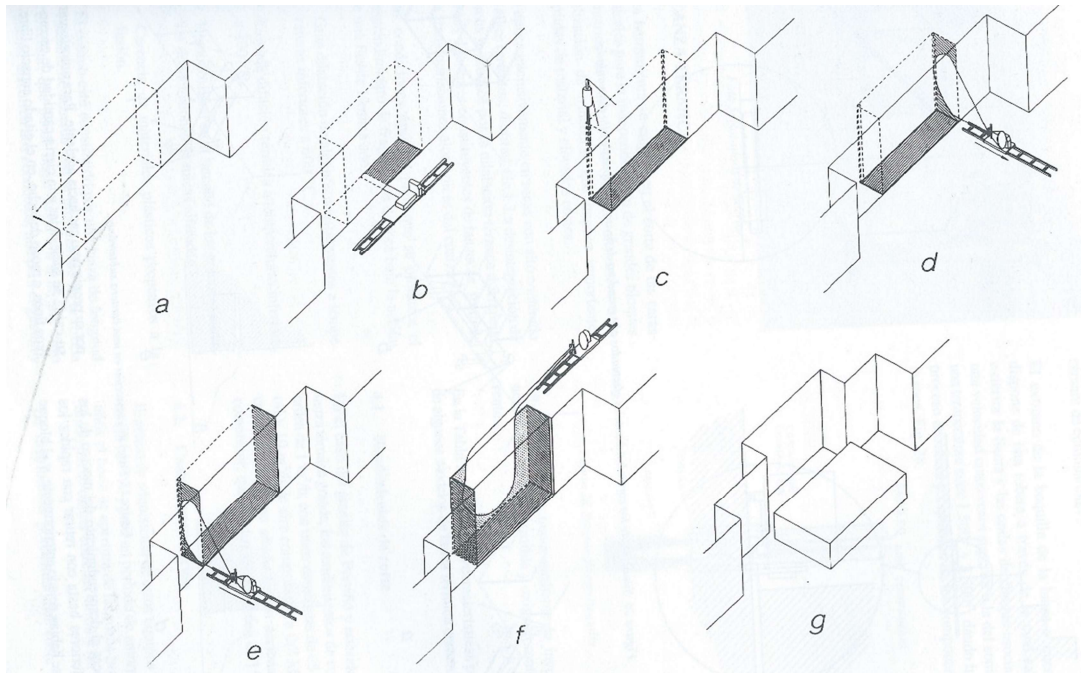


Ilustración 3.23: Corte de Bloques. Fuente: Rocas Ornamentales

En operaciones subterráneas los carriles son paralelos al frente para cortes horizontales o perpendiculares para el corte vertical. El conjunto se apoya en dos columnas que sirven de guía y de soporte del terreno excavado. Siempre se utilizan sistemas hidráulicos para el funcionamiento.

La técnica empleada es: fijar los largueros paralelos al frente, seguidamente se corta horizontalmente la arista del suelo. Se realiza otro corte a 10-20cm por encima del anterior, y se extrae mediante un martillo (hidráulico o neumático), la roca entre los cortes, dejando algunas rocas en forma de sujeción. Después se ejecutan los cortes horizontales a la altura del bloque comercial y en el techo. Por último, se realizan los cortes verticales de las dimensiones del bloque comercial, mediante largueros

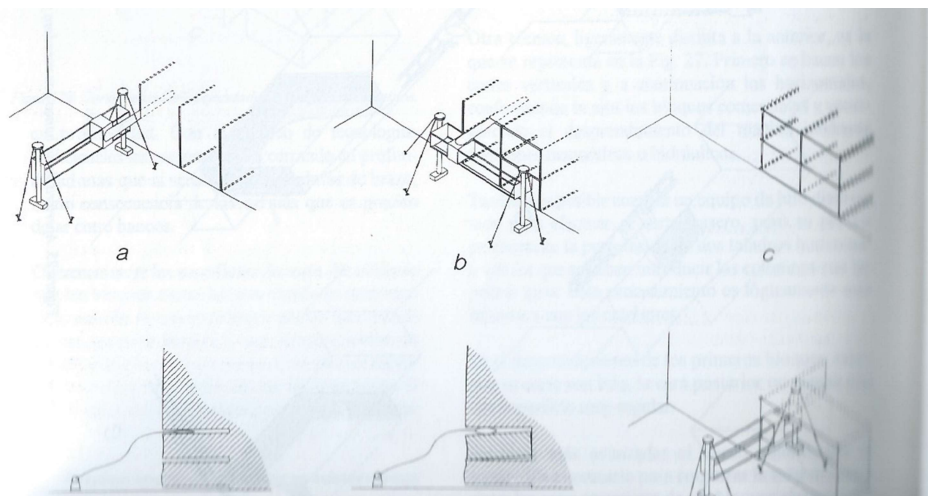


Ilustración 3.24: Hueco inicial con rozadora de brazo. Fuente: Rocas Ornamentales



Estudio de selección de técnicas de extracción, en función de eficacia y eficiencia, de areniscas en el área de Cantabria

perpendiculares al frente, y se extrae el primer bloque mediante cuñas. De esta forma podemos llegar a la cara posterior de los demás bloques.

Cada vez que se repara la cadena de corte, los dientes son girados un cierto ángulo, esto mejora la vida del útil, ya que el diente girado tendrá la zona menos desgastada. En la ranura perimetral del útil de corte es donde se instalan los inyectores de agua a presión para reducir el calentamiento y desgaste del útil además de mejorar el desplazamiento de los dientes por el efecto aqua-planning, con un caudal de 1,2-6m³/h.

El sistema de carriles en explotaciones de exterior, simplifica la operación de extracción, ya que la distribución de los carriles nos permite la extracción directa de los bloques de roca con las medidas finales, sin necesidad de futuras subdivisiones de los bloques.

Las profundidades de corte varían, en general, desde 1-3 m, con una potencia necesaria de entre 20-60 KW. Esto produce un rendimiento de entre 2-10cm/min, con una pendiente máxima de 15%.

Debido al costoso esfuerzo de reubicación de una rozadora de brazo por carriles, con un peso alrededor de 5tn, es necesario una grúa y entre 2-3 operarios. Por este motivo se ha intentado trasladar este método a un sistema de desplazamiento independiente como son las ruedas y orugas, que abre un nuevo área de usos de este método.



Ilustración 3.25: corte con rozadora de brazo. Fuente: www.fantinispa.it

Aunque en la actualidad hay suficientes híbridos, como el uso de orugas, para ejercer estas acciones de diferentes formas.

3.3.2.3. Maquinaria

La maquinaria empleada en este tipo de extracción está formada por [18]:

- **Chasis y tren de rodaje**

El chasis es la base robusta sobre la que se situaran el resto de elementos. El tren de rodaje puede variar en función de su forma de empleo; puede estar formado por rodamientos para un sistema de carriles, que aumente la velocidad, pero reduzca la maniobrabilidad, o por un sistema de cadenas oruga, que tiene la función inversa.



Ilustración 3.26: Rozadora de brazo. Fuente: www.fantinispa.it

- **Brazo y dispositivo de giro**

El brazo está formado por el mismo, además de por el motor, el reductor de ruedas dentadas y la cabeza. El dispositivo de giro lo componen el mecanismo de giro horizontal y la caja de rodamientos axial, denominado todo ello "puente", el bastidor del brazo y el mecanismo de giro vertical.

Para evitar vibraciones durante el corte deberá asegurarse de que tiene un buen



Ilustración 3.27: Rozadora de brazo, giro. Fuente: www.dazzinimacchine.com

soporte. Las vibraciones verticales en función de la longitud del brazo y las horizontales



Estudio de selección de técnicas de extracción, en función de eficacia y eficiencia, de areniscas en el área de Cantabria

condicionadas por el tamaño de la base. Los movimientos verticales suelen realizarse con cilindros hidráulicos.

- **Equipo eléctrico**

Condiciona la velocidad de funcionamiento de los dispositivos de la máquina. Suelen estar refrigerados por agua, además de poder contar con sistemas anti-grisú. Pueden existir varios equipos, cada uno para un elemento o por el contrario que un solo motor suministre a todas las partes de la máquina.

- **Equipo hidráulico**

Depende del sistema eléctrico para suministrarle el caudal y la presión necesaria para su funcionamiento. Estos permiten varios movimientos a la máquina como los giros de la cabeza de corte, desplazamiento de la rozadora, de la cabeza de corte....

- **Cabeza de corte**

Es la parte final de la máquina con la que se ejerce toda la fuerza para el desprendimiento del material solicitado. Según los movimientos de esta pueden ser:

- **Eje longitudinal**

También denominado “Milling”. Emplea un sistema de giro perpendicular a la superficie de trabajo. El corte ejercido emplea fuerzas laterales para el desprendimiento de material.



Ilustración 3.28: Minning. fuente: ocw.unican.es

- **Eje transversal**

También denominado “Ripping”. Las herramientas de corte giran en un eje paralelo a la zona de actuación. Las actuaciones del par de corte, la fuerza vertical y



Ilustración 3.29: Ripping. Fuente: el blog de Victor Yepes.UPV

horizontal son debidas al motor, el giro del brazo y el peso de la máquina. Si la roca es dura solo una pica a la vez estará trabajando.

- **Consola de control**

Suele encontrarse en el centro de la máquina. Su función es la correcta ejecución y alineación de la extracción. Algunas de ellas pueden utilizar hasta cuatro tipos de comandos; manual, semiautomático; evita cortar fuera de lo establecido, automático; realiza la función designada, programado; optimiza el ciclo.

- **Tipos de picas**

Existen dos tipos de picas, o dientes, las radiales y las tangenciales. Las primeras formadas por un corte de tungsteno, excelentes para roca blanda. Las segundas definen una forma cónica, útiles para las rocas duras, ya que aguantan mejor la fricción. Deben escogerse teniendo en cuenta la agresividad y dureza de la roca, y potencia de la máquina. El rendimiento de las picas también depende de la distribución que demos a sus giros, dividiéndoles en tres tipos.

- **Angulo de ataque**

Es el ángulo entre el eje de la pica y el de la cabeza de corte. Es el ángulo más importante porque de él depende la rotación de la pica, la penetración y la economía de corte.

- **Angulo de oblicuidad**

Es el ángulo formado por un plano que pasa por eje de la pica y es normal a la base del portapicas y un plano normal al eje de corte y la dirección de rotación de la cabeza.

○ **Angulo de basculamiento**

Angulo de basculamiento: es el ángulo formado por un plano que pasa por eje de la pica y es normal a la base del portapicas y un plano normal al eje de la cabeza de corte y la dirección de rotación de este.

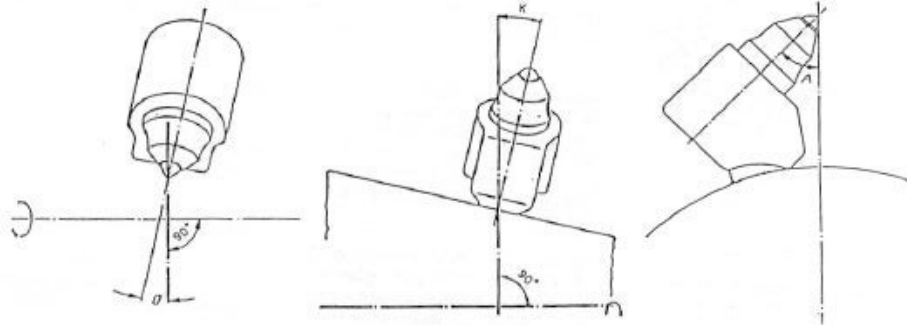


Ilustración 3.140: ángulos de las picas. Fuente: Explotación de rocas ornamentales

○ **Número y tamaño de picas**

Dentro de este ámbito depende en gran medida de las características de la explotación, debido a que si ponemos muchas picas el rendimiento va a ser peor, se

PICAS RADIALES

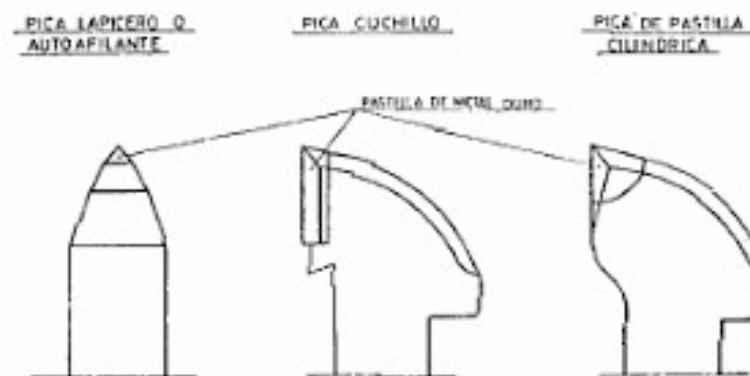


Ilustración 3.151: tipos de picas. Fuente: Explotación de rocas ornamentales

genera más polvo, aunque el desgaste de material es mínimo. Por el contrario, si ponemos pocas picas el desgaste es bastante alto, así como la producción de vibraciones, pero un mejor rendimiento. Por otro lado, el diámetro de las picas es parecido al número, si usamos picas de poco diámetro los desgastes aumentan y el rendimiento disminuye poco al cambio de dureza de la roca, mientras que las picas de mayor diámetro aumentan poco el desgaste de estas pero el rendimiento se ve reducido cuando sufre un cambio de resistencia de la roca.



3.3.2.4. Ventajas y desventajas

Las rozadoras de brazo en su mayoría comparten las siguientes ventajas y desventajas:

Ventajas:

- El corte tiene un acabado de gran calidad
- Piezas finales obtenidas directamente
- Corte limpio, sin vibraciones, sin grietas ni polvo
- Maquinaria de gran potencia
- Alta velocidad de trabajo

Desventajas

- Trabajos en superficies planas
- Sustitución regular de las picas

3.3.2.5. Resumen

Este método es rentable, además de las propiedades descritas, por no necesitar demasiado personal, sobre todo cualificado. Tiene buenos rendimientos que dependen en gran medida de la abrasión que caracterice al macizo, esto es debido a que si el desgaste de las picas es muy alto se deberá parar constantemente a su sustitución lo cual dejara en consecuencia una reducción importante del rendimiento. Es por esto que no se recomienda para rocas con gran contenido en sílice.

Además de, como pasaba con el hilo diamantado, necesita un depósito que este en una situación prácticamente horizontal para su empleo, así como una gran extensión para optimizar más el proceso.

3.3.3. Perforación con barrenos de proximidad

3.3.3.1. Características

Este método, también denominado “método Finlandés”, se basa en la perforación continuada de barrenos en el macizo rocoso para su posterior extracción del bloque. Los bloques extraídos por este método deben ser tratados en operaciones posteriores para conseguir un determinado tamaño comercial, esto es debido a que la primera perforación se utiliza para la separación de un bloque de dimensiones muy superiores a las comerciales. [19]



Ilustración 3.162: Perforación de barrenos. Fuente: AMYCA

3.3.3.2. Metodología

La metodología empleada en este proceso se puede dividir en tres fases:

- Perforación primaria: se realizan barrenos en una gran sección del macizo, extrayendo bloques de unas dimensiones que pueden variar entre los 100 y los 4000m³. En esta primera fase hay que contar con una cara libre para las posteriores etapas. Esta cara libre se puede crear con diferentes métodos, lanza



Ilustración 3.17: Perforación primaria. Fuente: Explotación de Rocas Ornamentales

térmica, hilo diamantado o por perforación, con la creación de una rampa hacia la cara libre. Por perforación los diámetros de los barrenos están entre los 27-32 mm, con longitudes de 6-8 m, con un rendimiento medio de 0,7-1,33m/m³.

- Perforación secundaria: el objetivo es la división del bloque en otros inferiores que se puedan dividir en bloques comerciales o directamente comercializar. De esta forma se suelen obtener bloques de unos de 30m^3 , que se subdividen en otros de entre 5 y 10m^3 .



*Ilustración 3.184: Perforación secundaria.
Fuente: Explotación de Rocas Ornamentales*

- Recuadre: etapa final antes de enviar los bloques para su tratamiento de corte y pulido antes de comercializarse. Esta fase utiliza barrenos con cuñas, su función es únicamente dividir, sin dañar el bloque por lo que se usan cuñas hidráulicas para ello. Para ello se realizan barrenos de 0,5-1,5 m de profundidad, paralelos y alineados con diámetros de 25 mm.



Ilustración 3.195: Reencuadre. Fuente: AMYCA

Para la realización de este método hay que tener en cuenta varios factores como son: la utilización de explosivos solo en la perforación primaria y secundaria, además de

no tener que cargar todos los barrenos, solo los necesarios para que las ondas de la explosión atravesasen los demás barrenos consiguiendo así su separación. Debido a lo anterior es fundamental crear una malla correctamente distribuida que cumpla esta función, así como que los barrenos verticales sean lo más verticales posibles, algo completamente necesario. Por otro lado, la perforación vertical nunca debe superar la cota de la perforación horizontal, si eso pasase se produciría la rotura de la roca en esa parte en varios metros. También hay que realizar las perforaciones de las esquinas con un ángulo mayor a 90º, esto evitara que el bloque se encaje en la roca y la dañe.[20]

Para definir las distancias entre barrenos se debe tener en cuenta tanto el diámetro del barreno como la resistencia a fragmentación de la roca. La única forma de definir estas características es empíricamente, por lo que se realizan varias



Ilustración 3.206: División de bloque. Fuente: Explotación de Rocas Ornamentales

perforaciones con separaciones que varían entre 10 y 20 veces el diámetro del barreno, se cargan con explosivo, y la distancia entre barrenos será la distancia máxima en la que la roca no ha sido dañada. Debido a esto tener una malla correctamente distribuida y vertical es fundamental para evitar la rotura de la roca, ya que si los barrenos no están alineados las ondas de la explosión en vez de atravesar los barrenos revotarían en la roca triturándola.

En las perforaciones posteriores se utilizan cantidades de explosivo y diámetros de barrenos inferiores.

3.3.3.3. Maquinaria

La maquinaria empleada puede variar enormemente según el tamaño y tipo de explotación. En general se utilizarán perforadoras convencionales para las zonas verticales y jumbos para las horizontales. Aunque también existen máquinas que permiten perforar taladros alineados horizontales y verticales.



Ilustración 3.217: Jumbo. Fuente: TunnelTalk.com

Además de un sistema de cuñas hidráulicas para el recuadre de los bloques

3.3.3.4. Ventajas y desventajas

Los barrenos de proximidad en su mayoría comparten las siguientes ventajas y desventajas:

Ventajas:

- Se puede utilizar en cualquier tipo de terreno, si primero se acondiciona
- Grandes producciones en materiales duros
- Gran versatilidad con la distribución de barrenos y uso de explosivos

Desventajas:

- Varias etapas para la obtención del producto final.
- Bastante tiempo de preparación y colocación.

3.3.3.5. Resumen

Este método se usa en macizos duros o muy duros, debido a que el uso de explosivos para la creación de fallas y la determinación de los espaciamientos entre barrenos, permite seguir diferentes estrategias acorde al tipo de mineral en que se vaya a emplear.

Se puede emplear en todo tipo de relieves, después de acondicionar el terreno.



Aunque la necesidad de hacer el trabajo en varias etapas, ralentice el proceso en los primeros momentos de su uso, con una buena distribución se pueden conseguir gran cantidad de material y buenos rendimientos, con una rentabilidad alta si tenemos en cuenta que se emplea en rocas duras.

3.3.4. Empujador de almohadilla y cuñas

3.3.4.1. Características

Esta herramienta, como su propio nombre indica, está formada por almohadillas que se insertan en perforaciones o huecos del terreno y que mediante agua o empuje hidráulico permite la creación de fallas de rotura en la roca en la dirección que nos favorece, de esta forma se puede proceder a la separación del bloque mediante el empuje hidráulico y la falla creada.[21]

3.3.4.2. Metodología

El funcionamiento de esta maquinaria consiste en la creación de huecos para la introducción de la misma, esto se puede conseguir mediante el uso de cavidades propias en la roca, grietas o fisuras que nos favorezco, o el uso de barrenos de poca profundidad, alrededor de los 30 cm. Estos barrenos se distribuirán por el trazado de la roca en función de las características de la roca. De esta forma se determinarán las medidas de



Ilustración 3.228: Cuñas. Fuente: explotación de Rocas Ornamentales



longitud y separación en función de la resistencia de la roca y el tamaño de macizo a cortar.

Tabla 3.6: Distribución de barrenos para el uso de cuñas. Fuente: Rocas ornamentales

Diámetro del barreno(mm)	Longitud de la cuña(mm)	Espaciamiento entre barrenos(cm)	Altura de corte
22	130	5-10	Baja
29	250	10-15	Media
29	450	10-15	Alta
34	350	15-30	Media
34	600	15-30	Media-Alta
34	750	15-30	Alta

Una vez obtenidas las hendiduras se procede a la inserción de las almohadillas desinfladas en estos huecos, una vez logrado se procede a la activación de la almohadilla a través de cuñas hidráulicas, que mediante un motor bombea agua a presión que realizara una fuerza contra el bloque para separarlo, o aire a presión, a través de almohadillas neumáticas que emplean el mismo sistema que el hidráulico pero con aire, mediante los dos mecanismo se consigue la fractura por el plano deseado y su posterior separación a través de empujadores hidráulicos que aplicaran la fueran necesaria para el vuelque del bloque.[22]

Existen dos tipos de cuñas, el tipo estándar, con ángulos agudos para rocas duras y separaciones pequeñas, y el tipo para rocas medias, con ángulos obtusos y separaciones mayores.

En la puesta en marcha de este sistema hay que tener en cuenta varios aspectos antes del uso de este sistema, para bloques de gran altura se suelen utilizar contracuñas, que se insertan en el fondo del barreno y ayudan a expandir el efecto de tracción de la cuña. Dependiendo de la dureza de la roca se pueden realizar diferentes combinaciones en la profundidad de los barrenos, alternando entre barrenos cortos y largos, con una relación de 1,5-2,5, por ejemplo, si el barreno largo puede variar entre 20-25cm el corto estará entre 10-15cm, esto ayuda a que la distribución de tensiones sea más regular, evitando así planos que no favorecen el trabajo. En esta misma línea, hay que asegurarse de la correcta perpendicularidad de las perforaciones, ya que pequeños desvíos crearan tensiones en planos contraproducentes para la explotación.

3.3.4.3. Maquinaria

La maquinaria puede variar debido a nuevas tecnologías. En la actualidad existen:

- **Almohadillas hidráulicas**

Se conectan a un motor eléctrico que administra energía hasta a 3 almohadillas a la vez. Tiene un espesor de 4mm y unas dimensiones de 100x100cm. Esta herramienta se llena con agua a una presión de 3Mpa, creando una fuerza de 300 toneladas por almohadilla, realizando un desplazamiento alrededor de 20cm.



Ilustración 3.39: almohadilla hidráulica. Fuente: es.made-in-china.com

- **Almohadilla neumática**

Esta maquinaria trabaja con aire comprimido con una presión que varía entre los 0,3-0,8Mpa y que ejerce una fuerza de rotura de 3Mpa. Tiene un espesor de 2,5-3cm. Y la fuerza de empuje generada es de 42-60 toneladas, con una separación de entre 41-52cm.

Además, cada cuña debe conectarse a una centralita, y cada centralita puede



Ilustración 3.230:almohadilla neumática. Fuente:
www.quarryingtools.com

manejar entre 1-6 cuñas, también esta se podrá desplazar mediante un chasis de ruedas, dándole gran movilidad.

3.3.4.4. Ventajas y Desventajas

Los empujadores de almohadilla en su mayoría comparten las siguientes ventajas y desventajas:

Ventajas:

- Inicio rápido de explotación
- Gran versatilidad
- No es necesario mucho personal

Desventajas:

- Varias etapas
- Explotaciones pequeñas

3.3.4.5. Resumen

Este método se puede emplear en cualquier tipo de terreno con el correspondiente acondicionamiento, y para rocas duras y blandas.



Este sistema tiene un inicio bastante inmediato debido a que usa las propias líneas de rotura del terreno, como sus cavidades. Esto implica que, si se tienen líneas de rotura acordes con la dirección de explotación, ahorrara mucho tiempo de preparación de barrenos, y si además se tienen cavidades naturales que se puedan aprovechar, el inicio de la explotación debería ser inmediato.

En general este método se usa en explotaciones de pequeñas dimensiones, puesto que en yacimientos grandes este método pierde rentabilidad y eficacia.

3.3.5. Corte con disco

3.3.5.1. Características

Este método consta de un sistema de carriles sobre el que se sitúa un disco de corte, varía según el tipo de roca en que se emplee. Este disco recorre los carriles produciendo un corte de poca profundidad en la roca. Tiene acabados excelentes, prescindiendo de encuadres, pero de poca profundidad. Por ello, este método tiene gran utilidad en trabajos específicos.

Está muy relacionado con la rozadora de brazo a cielo abierto, ya que permite la obtención de los bloques comerciales directamente

3.3.5.2. Metodología

La técnica empleada es básicamente la antes descrita, a través de un sistema de carriles distribuidos por la explotación, la cual debe ser mayoritariamente plana para conseguir grandes rendimientos, y un disco de corte, que puede ser cortador diamantado para suelos duros y metal duro para suelos blandos, que realizara cortes de una profundidad que puede variar entre 40-60 cm.

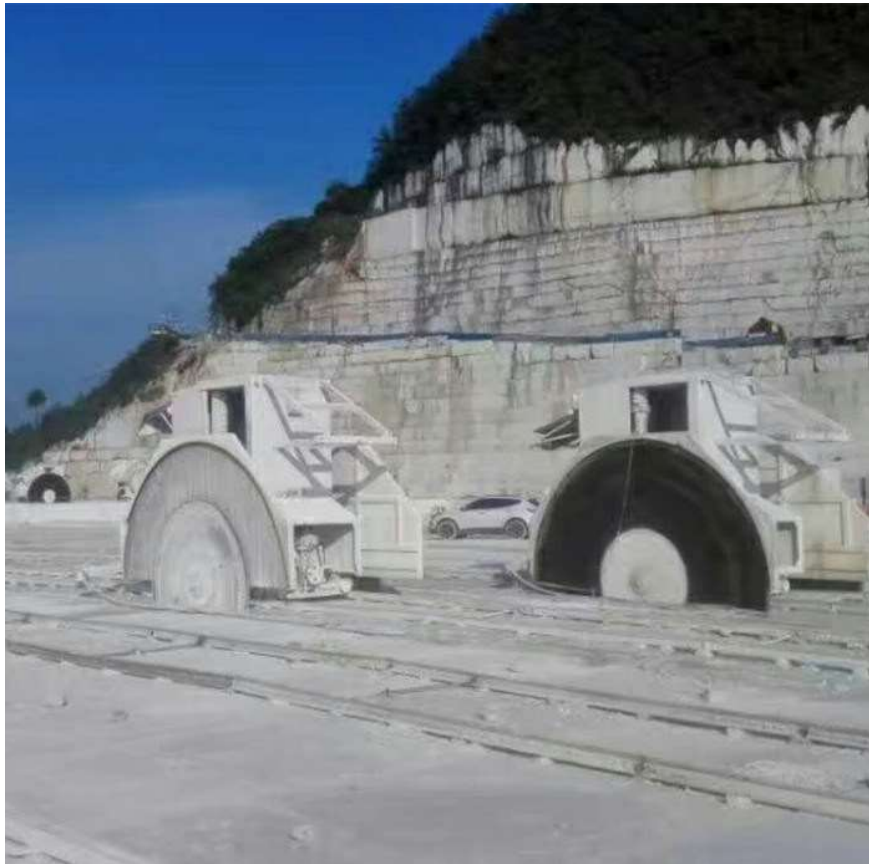


Ilustración 3.241: cortadora de disco. Fuente: es.made-in-china.com

Los discos, dependiendo de la máquina, pueden girar en ambas direcciones con diámetros entre los 1,5-3 m. También se debe tener en cuenta, que la inclinación máxima del terreno no puede superar el 15%.[23]

Posteriormente al corte con el disco se deberá contar con un grupo hidráulico que permita el desprendimiento de las secciones, esto se hace mediante el uso de martillos o cuñas hidráulicas.

3.3.5.3. Maquinaria



Ilustración 3.252: disco sobre oruga. Fuente: Explotación de rocas ornamentales

La maquinaria empleada puede variar dependiendo del objetivo a alcanzar.

Una de las rozadoras sobre carriles, más comunes es la de Pellegrini, que está formada por un disco vertical de 1200mm y uno horizontal de 610mm, que cuenta con las siguientes características.

Tabla 3.7: Propiedades de la rozadora. Fuente: Pellegrini

Velocidad de avance	0-20m/min
Velocidad de retroceso	90m/min
Potencia de motor diésel	112/135 KW
Distancia máxima entre pasadas	700 mm
Corte vertical máximo	400 mm
Corte horizontal máximo	250 mm
Peso aproximado	3,5 tn

En la actualidad existen una gran variedad de usos y tipos de maquinaria de corte con disco. Se pueden usar sobre orugas con equipos autoportantes, añadidos a una retroexcavadora hidráulica o se pueden usar fijas, para el uso en industrias de tratamiento de diferentes rocas y minerales. Estas adaptaciones tienen una media de 5-8m²/h. [24]



3.3.5.4. Ventajas y Desventajas

Los cortes con disco en su mayoría comparten las siguientes ventajas y desventajas:

Ventajas:

- Gran rapidez de la operación
- Mayor automatización
- Gran acabado.

Desventajas:

- Pequeños espesores de corte
- Condicionado por la horizontalidad del terreno

3.3.5.5. Resumen

Este método tiene la mayor dificultad en que la mineralización debe cumplir con las condiciones de relieve horizontal, gran extensión y la mayor automatización posible, si no se cumplen estas propiedades este método no será el más rentable.

Se puede emplear en varias durezas, contando con las herramientas adecuadas para cada caso, cortador diamantado o metal duro.

Su función principal es para casos específico de bloques de unas dimensiones específicas. No es el más utilizado en grandes explotaciones.



4. METODOLOGIA DEL ESTUDIO

4.1. VALORACION DE LAS TECNICAS

Para definir el valor que tiene una técnica, primero se debe conocer las propiedades del yacimiento que se va a explotar, de esta forma se puede determinar cuál será la finalidad más apropiada para dicha explotación. [25]

Para establecer cuáles son las características de la roca ornamental, primero se debe conocer la edad geológica del yacimiento, esto dará información sobre los diferentes eventos geológicos que pueden haber afectado al mismo, pliegues, fallas.... A continuación, se definen una serie de ensayos físico-químicos y mecánicos, que están regulados por normativas nacionales e/o internacionales. Con estos ensayos se obtienen unos valores de las propiedades de la roca como:

- Descripción petrográfica: recoge una serie de propiedades geológicas de la roca como son las discontinuidades, fisuras, poros, alteraciones, composición, ...
- Peso específico aparente: relaciona el peso total con el volumen total, a mayor valor, el material tendrá menor porosidad y por ende menor capacidad para absorber agua.
- Coeficiente de absorción de agua: es la capacidad que tiene un material para absorber agua, aumento de peso y volumen, después de estar sumergido en ella durante 24h. Cuanto mayor sea este coeficiente, más poros tendrá la roca.
- Resistencia a compresión: resistencia de un material a presiones máximas producidas por cargas de aplastamiento.
- Resistencia a flexión: resistencia de un material a tensiones máximas producidas por cargas que traccionan la misma
- Resistencia de choque: capacidad de un material de absorber energía antes de la fractura, mide la tenacidad del material
- Resistencia a las heladas: resistencia de un material al ciclo hielo/ deshielo, que por las propiedades del agua puede fracturar la roca.
- Resistencia de desgaste: resistencia de un material a la erosión producida por las partículas en suspensión y las condiciones climáticas.
- Resistencia a los cambios de humedad: resistencia de un material a los sucesivos estados de ausencia-presencia de humedad.
- Módulo de elasticidad: capacidad de un material para deformarse ante una carga y recuperar su estado inicial.
- Coeficiente de dilatación lineal: establece la relación entre el aumento de temperatura y el aumento de longitud producido.



- Microdureza de Knoop: determina la resistencia a penetración superficial de la roca. En rocas de origen sedimentario no es útil, debido a que la dureza dependerá de los minerales que la forman y con los que este en contacto.
- Resistencia al dióxido de azufre: resistencia química al anhídrido sulfuroso presente en las zonas urbanas e industriales.
- Resistencia al anclaje: resistencia máxima a la carga, antes de la rotura en los agujeros de los anclajes.

Tabla 4.1: Propiedades de la roca ornamental y aplicaciones en construcción. Fuente: Manual rocas ornamentales

PROPIEDADES	REVESTIMIENTOS		PAVIMENTOS		PELDAÑOS DE ESCALERA	PIZARRAS PARA CUBIERTAS	ARTE FUNERARIO
	INTERIORES	EXTERIORES	INTERIORES	EXTERIORES			
Descripción petrográfica	I	I	I	I	I	I	I
Peso específico aparente	I	I	I	I	I	I	I
Absorción de agua	PI	I	PI	I	PI	MI	I
Resistencia a compresión	PI	I	PI	I	I	-	PI
Resistencia a flexión	PI	I	I	I	MI	MI	PI
Resistencia al choque	-	-	I	MI	MI	-	I
Resistencia a las heladas	-	MI	-	MI	-	-	I
Resistencia al desgaste	PI	PI	I	MI	MI	-	MI
Resistencia a cambios de humedad	PI	MI	PI	MI	I	MI	I
Modulo elástico	-	I	-	I	-	PI	PI
Coeficiente de dilatación	-	MI	-	I	-	-	PI
Microdureza de Knoop	-	PI	I	MI	I	-	I
Resistencia al dióxido de azufre	-	I	-	I	-	MI	
Resistencia al anclaje	I	MI	-	-	-	-	
Contenido de carbonatos	-	-	-	-	-	MI	

- Contenido en carbonato: debido a que reacciona con el ácido sulfúrico, formando yeso y facilitando la exfoliación.



Con la determinación de estos parámetros se puede establecer una finalidad para el yacimiento.

Una vez que se conoce la finalidad de la explotación se puede pasar a la selección de método a emplear.

Para determinar cuál es el método más eficaz y eficiente para la explotación hay que tener en cuenta diferentes características que influyen a la hora de determinarle. Estas características son:

- Morfología del yacimiento: indica la extensión del yacimiento, así como el sentido de avance del mismo.
- Buzamiento del yacimiento: indica el ángulo que forma el yacimiento con el plano horizontal.
- Propiedades de la roca ornamental: propiedades físico-químicas y mecánicas de la roca a extraer
 - Resistencia a compresión
 - Resistencia a flexión
 - Modulo elástico
 - Contenido de sílice
 - Tamaño de grano
 - Separación de diaclasas
 - Agua freática
 - RQD
- Propiedades de la roca encajante: propiedades físico-químicas y mecánicas de la roca que contiene al yacimiento
 - Resistencia a compresión
 - Resistencia a flexión
- Cercanía a núcleos urbanos: proximidad a núcleos urbanos que se pueden ver afectados por ruidos, polvo...

Tabla 4.2: Clasificación de las técnicas de extracción y las propiedades geomorfológicas

	Hilo diamantado	Rozadora de brazo	Corte con disco	Perforación con barrenos de proximidad
Morfología del yacimiento				



		Masivo	3	3	3	3
		Lenticular	1	1	1	2
		Tabular	2	2	2	3
		Filoniano	1	1	1	1
Roca encajante						
	Potencia del yacimiento					
		<40m	3	3	3	3
		>40m	2	2	2	3
Buzamiento						
		0-15º	3	3	3	3
		15-35º	1	1	1	2
		>35º	-	-	-	1
Resistencia a compresión						
		<100Mpa	3	3	3	3
		100-160Mpa	3	3	2	3
		>160Mpa	2	2	1	3
Resistencia a flexión						
		<10Mpa	2	2	2	1
		10-30Mpa	3	3	3	2
		>30Mpa	3	3	3	3
Modulo elástico						
		<10000Mpa	1	2	1	2
		10000-40000Mpa	2	3	2	2
		>40000Mpa	3	3	3	3
Contenido en sílice						
		<2%	3	3	3	3
		>2%	2	1	1	3
Tamaño de grano						



Estudio de selección de técnicas de extracción, en función de eficacia y eficiencia, de areniscas en el área de Cantabria

	<1mm	1	1	1	3
	1-5mm	2	2	2	3
	>5mm	3	3	3	3
Separación entre diaclasas					
	>2m	3	3	3	3
	2-0,6m	2	2	3	2
	0,6-0,2m	2	2	2	1
	<0,2m	1	1	1	-
Agua freática(caudal)					
	<10l/min	3	3	3	3
	10-25l/min	1	1	1	2
	25-125l/min	1	1	1	2
	>125l/min	-	-	-	1
RQD					
	>90%	3	3	3	3
	90-75%	2	2	2	1
	75-50%	2	2	1	-
	50-25%	-	-	-	-
Bancos					
	Altos	1	1	1	3
	Bajos	3	3	3	2
TOTAL		73	74	70	81

En esta tabla no se han tenido en cuenta condiciones que dejarían fuera las técnicas de extracción, como pueden ser los yacimientos diseminados o irregulares, que normalmente no son rentables.

La tabla tiene una clasificación numérica que califica, de valores más altos a más bajos, la efectividad de cada técnica de extracción. Estos valores, teóricamente, nos indican que método se debe de usar según las condiciones de la explotación.

La clasificación cuantifica que método se adapta mejor a las características del yacimiento, con numeraciones que van desde el 3, para las más eficaces, hasta el 1, las



menos eficaces. También existen casos en los que no se puntúa debido a que, si se da dicha propiedad, no se podrá utilizar dicho método.

También hay que destacar que esta tabla es para los casos genéricos que se dan con más frecuencia, en condiciones especiales puede no ser eficaz.

La asignación numérica para cada técnica y propiedad, se estipula, atendiendo a la forma de aplicación de dicha técnica y su mejor empleabilidad.

Para la primera propiedad, que es la morfología del yacimiento, para yacimientos masivos cualquier técnica es buena, puesto que es la forma más sencilla de explotación y que menos problemas presenta. Para los yacimientos lenticulares, su forma dificulta mucho la empleabilidad de diferentes métodos, debido a la dificultad para establecer una zona de trabajo eficiente, la técnica más apta es la técnica de perforación y explosivos (PCE) que permite adaptarse a cualquier terreno. Los yacimientos tabulares facilitan la creación de bancos de trabajo cómodos para la variedad de técnicas, aunque la técnica de PCE es más eficaz, ya que puede usarse junto con bancos altos que aumentan el rendimiento de estas explotaciones. Por último, los yacimientos filonianos, como ocurre con los lenticulares, la forma de estos dificulta mucho el uso de cualquier técnica, sin excepciones, esto produce que el rendimiento caiga bastante en este tipo de yacimientos.

Las propiedades de la roca encajante, se tendrán en cuenta, cuando se tengan potencias del yacimiento inferiores a 40m, en dicho caso, para extraer el yacimiento se deben crear bancos de trabajo sobre la roca encajante, por lo que se deben tener en cuenta sus propiedades para establecer cuáles serán las características más eficaces y seguras de estos bancos. Para potencias superiores a 40m se puede colocar los bancos de trabajo sobre el propio yacimiento, teniendo en cuenta las propiedades de este, y no los de la roca encajante. En este último caso la técnica más beneficiosa será la PCE, porque las características del yacimiento, normalmente, permiten mayores bancos y mayor rendimiento.

Para la siguiente propiedad, el buzamiento del yacimiento, para buzamientos entre 0-15° son las condiciones más favorables para cualquier tipo de explotación, cualquier técnica es apta y con alto rendimiento. Para buzamientos entre 15-35°, las tres primeras técnicas quedan bastante condicionadas por las inclinaciones a las que pueden trabajar, quedando la PCE con la mejor técnica ya que no le afecta en exceso esta propiedad. Para valores superiores a los 35° la única técnica posible es el PCE, ya que el resto de técnicas directamente son inaplicables en estas condiciones, esto es porque los motores de dichas técnicas no pueden contrarrestar las fuerzas producidas por la inclinación, además de que el avance de las mismas es demasiado costoso.

La siguiente propiedad, resistencia a compresión, antaño era una de las propiedades que más se tenía en cuenta, pero actualmente debido a la gran variedad de útiles de corte, con diferentes aleaciones y combinaciones, hace que esta propiedad reduzca su importancia. Para resistencias inferiores a los 100Mpa cualquier técnica hace un excelente trabajo. Para resistencias entre 100-160Mpa las técnicas de corte reducen un poco la eficacia por el tiempo de corte necesario, que es más notable en el corte con



Estudio de selección de técnicas de extracción, en función de eficacia y eficiencia, de areniscas en el área de Cantabria

disco. Para resistencias superiores a los 160Mpa se aprecia la ralentización de las técnicas de corte con útiles, mientras que la PCE no se ve afectada, ya que no realiza cortes continuos.

La próxima propiedad, resistencia a flexión, es una propiedad que está unida a la altura de banco que podemos emplear en la explotación del yacimiento. Para resistencias inferiores a 10Mpa, se debe utilizar bancos bajos y técnicas que no impliquen el vuelco de grandes bloques, por lo que la PCE es la menos eficaz. Para resistencias entre 10-30Mpa son valores en los que se puede variar la altura de bancos y las dimensiones de los bloques, por lo que cualquier técnica será apta, teniendo en cuenta las demás características. Con valores superiores a los 30Mpa la mejor técnica es la PCE, porque permite la creación de grandes bancos de trabajo con bloques de grandes dimensiones, que soportaran las tensiones producidas en el vuelco de dicho bloque sin fracturarse. Esto permite la extracción de grandes cantidades de material con una sola voladura, aumentando el rendimiento en gran medida.

La propiedad del módulo elástico es una característica que afecta a la extracción del bloque una vez cortado. Esto es porque cuando se ha cortado el bloque, hay que separarlo del macizo, normalmente mediante empujadores de almohadillas y cuñas, estos ejercen una fuerza sobre el bloque para desprenderlo. Si el módulo elástico es bajo puede producir la rotura del mismo y la consecuente pérdida del material. Por ello, para valores inferiores a los 10000Mpa, la rozadora de brazo es de las mejores opciones, ya que es capaz de cortar todas las caras del bloque facilitando la extracción, sin exigir gran elasticidad. Para valores entre 10000-40000Mpa la mayoría de las técnicas se pueden implementar, aunque es la rozadora de brazo la que destaca, por no tener que ampararse en esta propiedad. Y con resultados superiores a 40000Mpa cualquier técnica es compatible, ya que soporta la deformación producidas por las cuñas y empujadores de almohadilla y es capaz de recuperar la forma sin fracturarse.

La siguiente propiedad, el contenido de sílice, es la característica más importante de todas. Esta propiedad nos condicionara tanto la técnica como el tipo de útil a emplear. Con contenidos inferiores al 2%, prácticamente las técnicas no se ven afectadas por este valor, y permite la empleabilidad de cualquiera de ellas. Pero con contenidos superiores al 2%, la mayoría de técnicas dejan de ser operativas, ya que el consumo de útiles de corte se dispara, acarreando un coste excesivo para su aplicación. En este caso el corte con hilo diamantado es una opción, dado que existen gran variedad de útiles para diferentes composiciones. Pero es la PCE la mejor técnica en este aspecto, ya que es independiente de esta propiedad.

La propiedad definida como tamaño de grano, es acorde, en consecuencias con el contenido de sílice. Para tamaños inferiores a 1mm, el desgaste por erosión es muy alto, por lo que los útiles de corte se ven gravemente afectados por esta propiedad, estableciendo como mejor técnica la PCE, que al igual que con la sílice, es independiente de esta propiedad. Con valores entre 1-5mm la erosión disminuye permitiendo emplear alguna de las demás técnicas, pero manteniendo algunas cargas presupuestarias por la frecuencia de sustitución de los útiles de corte. Cuando el valor es superior a 5mm, la



mayoría de las técnicas son aptas, aunque la eficacia dependerá de los valores en los que se mueva el yacimiento.

La siguiente propiedad, separación entre diaclasas, nos indica los planos de fractura que hay en la roca. Cuando la separación es superior a 2m, la fracturación es baja, por lo que se pueden aplicar todas las técnicas. Si el valor está entre 2-0,6m, el corte con disco será la mejor opción, por estar restringido a cortes de poco espesor, lo cual hace que estos valores no le afecten. Para valores entre 0,6-0,2m, se ven afectadas todas las técnicas por los planos de fracturación existentes en el yacimiento, la PCE será la peor técnica por la necesidad de tener un macizo compacto en el que poder aplicarla, el resto de técnicas serán más propicias por su capacidad para estipular la zona de corte, apoyándose en estos planos de fractura. Para valores inferiores a 0,2m, la fracturación es tan amplia que todas las técnicas tendrán dificultad para la extracción de material.

La propiedad que tiene en cuenta el caudal que puede atravesar el macizo, denominado agua freática. Esta propiedad es de especial importancia, no solo por el gasto económico que supone bombearla, sino por el riesgo que corren las máquinas estacionadas sobre el yacimiento. Con caudales inferiores a los 10l/min cualquier técnica es apta. Con caudales entre los 10-25l/min, las técnicas que funcionan sobre raíles pierden adaptabilidad por el riesgo que supone la colocación de las máquinas sobre estos, ante la posibilidad de aumento de nivel de agua y consecuente inoperatividad de estas. Entre valores de 25-125l/min, el riesgo anterior es bastante alto a medida que aumenta este caudal, dando como técnica con mejores resultados y menor riesgo la PCE. Y con valores superiores a 125l/min las técnicas sobre carriles quedan obsoletas, dejando como única opción la PCE, pero con rendimientos reducidos.

La propiedad del RQD es una de las más importantes para la extracción de roca ornamental, por reflejar el nivel de fracturación que tiene el macizo. Con valores superiores al 90% el macizo está compacto, sin fracturación importante, por lo que cualquier técnica sería adecuada. Con niveles entre el 75-90%, el yacimiento está algo fracturado, lo que dificultará el uso de PCE, que fracturará más el terreno, perdiendo material utilizable, por lo que las demás técnicas serán las recomendadas, sobre todo aquellas que sean capaces de definir la longitud y la línea de corte. Para valores entre 50-75% el yacimiento está bastante fracturado, se deben emplear técnicas selectivas, para las zonas más sanas del mismo. En este caso el hilo diamantado y la rozadora de brazo serán las más adecuadas. El corte con disco tiene poca versatilidad para colocarlo en las zonas específicas. Si el RQD es inferior al 50%, la roca está demasiado fracturada para la extracción de material en cantidades suficientes para que la explotación sea rentable.

La última propiedad, la altura de banco, está relacionada con la técnica que se emplee, ya que, a excepción de la PCE, el resto de técnicas suelen usar bancos bajos. Aunque a mayor altura de banco, mayor cantidad de material extraído de una sola vez. Esta propiedad está relacionada, como se explicó en los párrafos anteriores, con la resistencia a flexión, módulo elástico, separación entre diaclasas y fracturación de la roca. Estas propiedades condicionan el posible uso de bancos altos. Si se cumplen los



valores necesarios en cada una de ellas, se podrá implementar el uso de los bancos altos, en cuyo caso la PCE es la técnica más eficaz y eficiente para este caso.

4.2. SELECCIÓN DE LA TECNICA DE EXTRACCION FINAL

Para seleccionar la técnica de extracción que mejor se adapte a las condiciones del terreno, solamente hay que comprobar cuales son las características, tanto del terreno como del propio yacimiento. Con estos datos se consigue la valoración numérica de todas las técnicas de extracción que se han valorado en la tabla. Con estos valores se puede apreciar cuales de las técnicas es la más eficaz y eficiente para dicho tipo de yacimiento, la que tenga una valoración más alta.

Se debe señalar que hay propiedades más destacables que otras, por lo que a raíz de una propiedad específica que tenga unos valores excepcionales puede que deje obsoleto el resto de características.

Por ejemplo, si las condiciones de resistencia a flexión son muy altas, fuera de los valores considerados, esto haría que la técnica extractiva de la perforación con voladura de bancos altos sea la más eficaz, debido a que permite la separación de bloques mucho más altos, que ante el vuelco de estos no se ve dañada por los efectos de flexión que se generan en este movimiento. Esto permite sacar bloques con dimensiones mucho mayores que cualquiera de las demás técnicas.

Otro ejemplo sería el contenido de sílice, si éste es muy alto, la técnica de hilo diamantado no sería eficaz, ya que el desgaste sufrido en el corte bajaría el rendimiento y provocaría una subida del presupuesto de gasto en hilo diamantado superior a la rentabilidad, en este caso, la perforación con explosivos, las almohadillas y/o cunas podría ser las técnicas más favorecidas para su uso.

Esta tabla tiene la finalidad de poner de manifiesto, en un corto periodo de tiempo, la técnica de extracción que mejor se adapta a las condiciones del terreno. Pero es obligación del responsable poner en valor las características que se crean, van a poner más en riesgo la explotación, como las señaladas en los párrafos anteriores.

4.3. APLICACIONES DE LAS TECNICAS DE EXTRACCION

Con lo descrito en los párrafos anteriores, se define la técnica de extracción más adecuada en función de las características del terreno y del yacimiento, pero también hay que tener en cuenta cual va a ser la aplicación de dicha roca ornamental. Al igual que la tabla anterior que define las finalidades más comunes de la roca ornamental, se definirá la técnica más recomendable en cada uno de los casos, atendiendo a cuál tendrá más eficacia y eficiencia para dichas aplicaciones, sin tener en cuenta lo antes descrito.



También hay que tener en cuenta que estas aplicaciones se deben pulir y acondicionar en naves especializadas para lograr las finalidades más específicas.

Tabla 4.3: Propiedades de la roca ornamental y aplicaciones en construcción. Fuente: Manual rocas ornamentales

PROPIEDADES	REVESTIMIENTOS		PAVIMENTOS		PELDAÑOS DE ESCALERA	PIZARRAS PARA CUBIERTAS	ARTE FUNERARIO
	INTERIORES	EXTERIORES	INTERIORES	EXTERIORES			
Descripción petrográfica	I	I	I	I	I	I	I
Peso específico aparente	I	I	I	I	I	I	I
Absorción de agua	PI	I	PI	I	PI	MI	I
Resistencia a compresión	PI	I	PI	I	I	-	PI
Resistencia a flexión	PI	I	I	I	MI	MI	PI
Resistencia al choque	-	-	I	MI	MI	-	I
Resistencia a las heladas	-	MI	-	MI	-	-	I
Resistencia al desgaste	PI	PI	I	MI	MI	-	MI
Resistencia a cambios de humedad	PI	MI	PI	MI	I	MI	I
Modulo elástico	-	I	-	I	-	PI	PI
Coefficiente de dilatación	-	MI	-	I	-	-	PI
Microdureza de Knoop	-	PI	I	MI	I	-	I
Resistencia al dióxido de azufre	-	I	-	I	-	MI	
Resistencia al anclaje	I	MI	-	-	-	-	
Contenido de carbonatos	-	-	-	-	-	MI	

Para el uso de la roca ornamental en revestimientos, hay que tener en cuenta que estos productos, cuando son para interiores, suelen tener unos espesores de entre 2-4cm, en consecuencia, se recomienda el empleo de la rozadora de brazo, que permite un corte más limpio y con menos vibraciones, esto facilita la separación de los bloques en las medidas indicadas. Si los revestimientos son en exterior, las dimensiones son algo mayores, por lo que se puede emplear otras técnicas como el hilo diamantado o el corte



con disco, siendo esta última la más recomendable para los cortes verticales, en combinación con la rozadora de brazo para los horizontales, si la extracción de este tipo de revestimiento es la mayor parte de la producción, con la consecuente automatización del proceso.

Si la finalidad de la roca ornamental es la de pavimentos, las dimensiones pueden variar entre 150x150x15mm y 1400x700x60mm, siendo Largo x Ancho x Alto. En estas circunstancias lo recomendable es el hilo diamantado para los cortes verticales y la rozadora de brazo para los horizontales. El uso de perforación con explosivos también es factible si las condiciones de acabado no son exigentes.

Cuando la utilidad de la roca ornamental es para peldaños de escalera, existe una gran variedad de dimensiones para su formación. Desde bloques de roca que forman cada peldaño de la escalera, hasta losas finas que crean únicamente el ángulo recto de la misma. Por ello las dimensiones de este tipo de finalidad, definirán que técnica de extracción emplear. Para el primer caso se puede utilizar hilo diamantado, como perforación con explosivos por las grandes dimensiones de los peldaños. Mientras que en el segundo caso se pueden emplear las mismas que para revestimientos de interior.

Para el uso de pizarra para cubiertas, las dimensiones de este producto son 32x22x1cm, de manera generalizada, aunque hay más variedad de medidas, llegando a 50x30x1,5cm o longitudes personalizadas. Debido a su propiedad de esquistosidad, habrá que tener muy en cuenta las foliaciones que puede producir y aprovecharlas para no perder material. El método menos agresivo será la rozadora de brazo que permite cortes de pequeño espesor sin ser muy agresivo. Usar la técnica del corte con disco, complementando la anterior también es posible. El hilo diamantado en cambio, puede tornarse por algún motivo y destrozar la pizarra.

Para la ejecución del arte fúnebre, se exigen bloques de las dimensiones necesarias para contener toda la figura a representar. Por este motivo sus dimensiones estarán ampliamente por encima de los casos anteriores, destacando la profundidad del bloque, muy por encima de los 6cm de los pavimentos exteriores. La creación de estos bloques puede hacerse con cualquier método, debido a que no se exige un acabado pulido. La utilización de la perforación con explosivos, como el uso de hilo diamantado son las más recomendables.

5. APLICACIÓN A CASO DE ESTUDIO

5.1. LOCALIZACION

Para la aplicación del estudio en un caso práctico, se ha escogido la zona de San Vicente del Monte, en Valdáliga [26], cuyas coordenadas son: 43°17'15"N, 4°18'16"O, a una altitud de 317m. La zona donde se situaría una hipotética cantera de arenisca sería, a unos 800-1200 m al suroeste de esta localidad, sobre la Sierra Cabalgante del Escudo de Cabuérniga. Se define este caso como hipotético, debido a la posibilidad de no cumplir las medidas medioambientales que supondría, así como la cercanía de una antigua calzada histórica denominada la *"Cambera de los Moros"*. Por otro lado, es una zona donde se pone de manifiesto varias características especiales de utilización del estudio definido.

La zona donde se situaría la explotación tiene un desnivel de entre 120-150m en la ladera de la montaña, alrededor de las coordenadas: 43°17'N, 4°18'53"O.

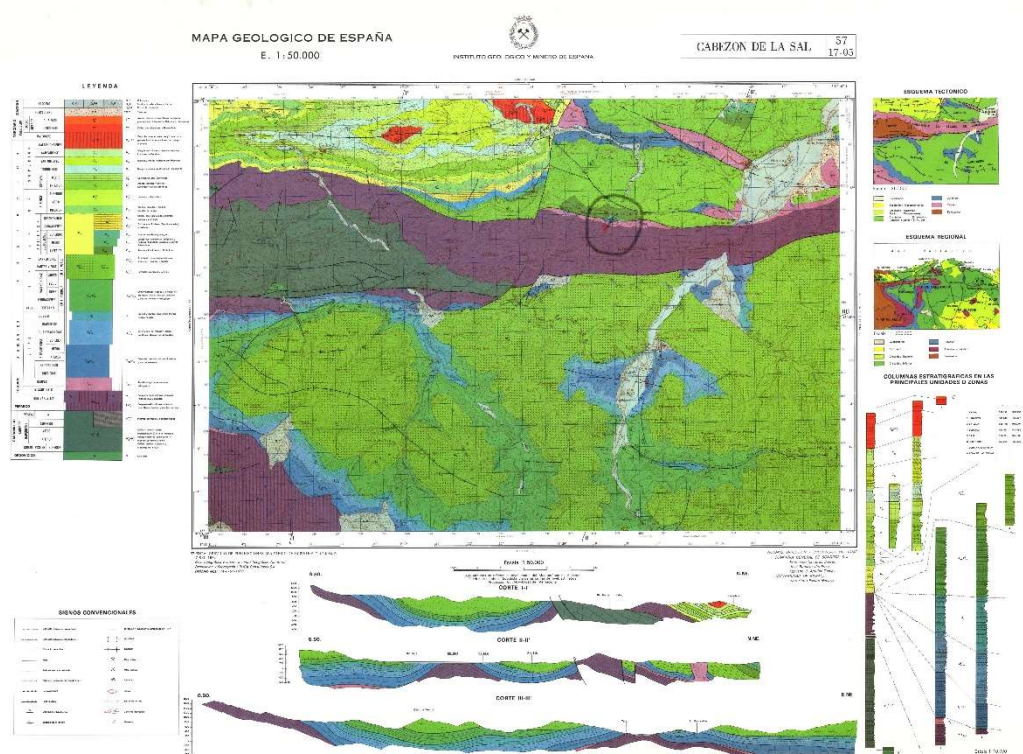


Ilustración 5.1: Mapa Geológico de Cabezon de la Sal. Fuente: IGME

5.2. CARACTERISTICAS

Las propiedades de esta ubicación son, morfológica y geológicamente las siguientes. Por la localización escogida se tratará de una cantera en pendiente, ya que no es lo suficientemente abrupta para considerarla cantera de montaña. Se trata de una zona de arenisca masiva debido a la franja cabalgante, que se extiende a lo largo de gran parte de Cantabria y Asturias. Con potencias comprendidas entre los 80-120 m, como se



puede apreciar en el mapa geológico del IGME. Las potencias del mismo varían entre los 25-35º de buzamiento, con dirección sur-suroeste.

Las características geomecánicas de la roca se han obtenido a partir de otras areniscas de la zona, que comparten edad geológica, triásico, y posiblemente mismo origen de formación, pudiendo considerarse la misma formación a lo largo del norte cantábrico y asturiano. Se han tenido en cuenta areniscas como la Marina Gris asturiana [27], que es una sublitarenita, que contiene entre un 75-90% de cuarzo [28]. Basándose en estas areniscas se pueden definir las propiedades mecánicas de la roca como:

- Resistencia a compresión: entre 55-65Mpa
- Resistencia a flexión: entre 4-6,5Mpa
- Módulo de elasticidad: entre 15000-18000Mpa
- Tamaño de grano: medio 1-5mm
- Contenido en sílice: >70%
- Separación entre diaclasas: entre 2-0,6m
- Agua freática(caudal): 10-25l/min
- RQD: 75-90%
- Porosidad: 15-20%
- Coeficiente de absorción: 7-10%
- Resistencia al impacto: 45-50cm
- Resistencia al desgaste: 19-23mm

Con la información obtenida, se puede proceder a el empleo de la tabla definida con anterioridad para comprender su utilización en canteras.

5.3. METODO

Con las propiedades de la roca a extraer, se puede emplear la siguiente tabla especificada para dichas propiedades, para definir la técnica más eficaz y eficiente de explotación.

Tabla 5.1: Aplicación teórico-práctica de selección de técnica de explotación

	Hilo diamantado	Rozadora de brazo	Corte con disco	Perforación con barrenos de proximidad



Morfología del yacimiento					
		Masivo	3	3	3
Roca encajante					
	Potencia del yacimiento				
		>40m	2	2	3
Buzamiento					
		15-35º	1	1	2
Resistencia a compresión					
		<100Mpa	3	3	3
Resistencia a flexión					
		<10Mpa	2	2	1
Modulo elástico					
		10000-40000Mpa	2	3	2
Contenido en sílice					
		>2%	2	1	3
Tamaño de grano					
		1-5mm	2	2	3
Separación entre diaclasas					
		2-0,6m	2	2	3
Agua freática(caudal)					
		10-25l/min	1	1	2
RQD					
		90-75%	2	2	1
Bancos					
		Bajos	3	3	2
TOTAL			25	25	27

Como se puede apreciar en la tabla la técnica más adecuada para esta explotación es la perforación con explosivos. Esta técnica es la más adecuada en gran medida por el alto contenido en sílice, que produce un efecto significativo en el desgaste de los utensilios



de corte. Además del empleo de bancos bajos por el condicionante del RQD, que, al estar la roca algo deteriorada, dificultaría en mayor medida el empleo de bancos altos por las altas probabilidades de fragmentación de los bloques a extraer. También hay que considerar, que esta técnica viene unida en casi todos los casos con el uso de cuñas y almohadillas de empuje, utilizadas para la separación y posterior vuelco de los bloques. Que también puede utilizarse para la posterior división de bloques con más movilidad en dimensiones más funcionales. Evitando, así, el uso de otras técnicas que conlleven desgaste de útiles de corte.

Aunque la técnica más favorable es la de perforación con explosivos, habrá que tener en cuenta, que lo más probable será la combinación de varios métodos para la explotación más eficaz de la cantera, como el uso de la rozadora de brazo para el corte de zonas más deterioradas, donde el uso de explosivos con lleve la mayor fragmentación del bloque.

En el factor financiero habrá que tener en cuenta el ritmo productivo que se quiere obtener, además del gaste de utensilios de corte que se quiera asumir. En el caso de que no se exijan grandes ritmos de producción el empleo de la perforación con explosivos como única técnica a emplear será factible, ya que se puede estudiar en mayor medida las condiciones del terreno y los efectos de estos, ahorrando parte del presupuesto por los útiles exigidos por otras técnicas. Si lo que se quiere es una gran producción, la combinación de técnicas es casi imprescindible por las razones antes descritas, con el aumento de gasto asociado.

Por último, la finalidad que se le de a el material extraído es, también, un factor a tener en cuenta. Si, por ejemplo, su utilización va a ser en pavimentos exteriores, se puede permitir una superficie final más abrupta, que permite utilizar los explosivos con mayor versatilidad, sin necesidad de conseguir grandes acabados. Si por el contrario su empleabilidad es para revestimientos de interior, es necesario una superficie más pulida, la cual se consigue con otras técnicas como el hilo diamantado o la rozadora de brazo.



6. CONCLUSIONES

Después de lo expuesto en las paginas anteriores se puede llegar a varias resoluciones.

La primera es, que las condiciones topográficas son un factor importante a la hora de definir el sistema de extracción y la capacidad productiva de la explotación. Debido a que maquinas, como la grúa Derrick, no tienen gran capacidad de movimiento y su empleo ralentiza la extracción del producto de la zona de explotación.

La segunda es, que las condiciones morfológicas del yacimiento, así como sus propiedades geológicas son los factores más importantes a la hora de seleccionar un método de explotación eficaz, estas circunstancias pueden condicionar por completo el sistema de explotación, como puede ser, un alto contenido en sílice o resistencias excepcionalmente elevadas.

La tercera es, que las técnicas empleados, en la mayoría de los casos no son únicos, y se suelen combinar varias de ellas para conseguir mejores resultados. Por ejemplo, la rozadora de brazo suele combinarse con la mayoría de las técnicas, debido a su capacidad para cortar en horizontal a ras del suelo o su versatilidad para dividir los bloques de manera eficiente, con un adecuado sistema de carriles. Esto se puede emplear tanto para lo antes descrito o para la creación del hueco inicial de la explotación, a partir de la cual se procede a la extracción de los bloques. Esto también pasa con las cuñas y almohadillas, que su uso suele estar conectado con otras técnicas, como la perforación o el hilo diamantado, para los volcados necesarios de los bloques en zonas de mejor manejabilidad del producto.

También cabe destacar que el método de perforación con explosivos es el método más eficaz y eficiente en cualquier caso, condicionado sobre todo por el estado de meteorización que afecte a la roca a extraer, un bajo nivel de RQD imposibilita su uso, por el efecto expansivo y triturador que ejercen los explosivos sobre la roca, terminando de triturarla, en vez de crear planos de rotura.

Esta técnica también puede estar condicionado por efectos sociales o medioambientales, como la producción de efectos sonoros molestos o dañinos, o producciones de polvo extensas, que se dispersen por la zona, en terrenos relativamente cercanos a núcleos urbanos, que condicionen su uso, afectando en mayor medida a las capacidades de producción de la explotación.

La cuarta es, que la finalidad del producto que se quiere conseguir puede condicionar el sistema de extracción. Como se explicó con anterioridad, la producción de revestimientos interiores o los pavimentos exteriores, necesitan técnicas diferentes y niveles de acabado dispares, que afectaran a la producción.

La quinta es, que el condicionamiento económico del proyecto se verá afectado por todas las consecuencias antes descritas y habrá que tener en cuenta para la elección del método. Como se explicó en capítulos anteriores, una mayor cantidad de sílice, aumentara considerablemente el gasto en útiles de corte de diferentes técnicas, también producido por altas resistencias de las rocas, entre otras propiedades.



Estudio de selección de técnicas de extracción, en función de eficacia y eficiencia, de areniscas en el área de Cantabria



Finalmente, se puede concluir que cualquier técnica escogida se debe adaptar tanto a las condiciones morfológicas del terreno y del yacimiento, como a la geología del yacimiento, el nivel de producción exigido, la disposición presupuestaria del proyecto y las diferentes condiciones sociales y medioambientales de la zona donde se ejecuten. Aun así, siempre habrá casos singulares que exijan la empleabilidad de técnicas especiales o/y únicas que marcaran la dirección de las demás, las cuales pondrán en valor la verdadera rentabilidad de la explotación, a la espera de mejores precios para el producto o de nuevas técnicas que disminuyan su coste y eficacia.



7. BIBLIOGRAFIA

- [1] Informe Sectorial. Clúster Piedra.2016.
- [2] Explotación de Rocas Ornamentales. Diseños de explotación y selección de maquinaria y equipos. Cap. 1. Universidad politécnica de madrid.2007.
- [3] Rocas y Minerales. Fuente: <https://www.rocasyminales.net/granito/>
- [4] Manual de Rocas Ornamentales.Cap.6.1996
- [5] Servicio Geológico Mexicano(SGM). Rocas metamórficas. 2017
- [6] Construyedifica.com. El mármol. 2011
- [7] Manual de Rocas Ornamentales.Cap.4.1996
- [8] Explotación de Rocas Ornamentales. Diseños de explotación y selección de maquinaria y equipos. Cap. 4. Universidad politécnica de madrid.2007.
- [9] Victor Yepes Piqueras (2017). Grúas Derrick
- [10] Explotación de Rocas Ornamentales. Diseños de explotación y selección de maquinaria y equipos. Cap. 5. Universidad politécnica de madrid.2007.
- [11] Explotación de Rocas Ornamentales. Diseños de explotación y selección de maquinaria y equipos. Cap. 6. Universidad politécnica de madrid.2007.
- [12] Explotación de Rocas Ornamentales. Diseños de explotación y selección de maquinaria y equipos. Cap. 7. Universidad politécnica de madrid.2007.
- [13] Explotación de Rocas Ornamentales. Diseños de explotación y selección de maquinaria y equipos. Cap. 8. Universidad politécnica de madrid.2007.
- [14] Explotación de Rocas Ornamentales. Diseños de explotación y selección de maquinaria y equipos. Cap. 9. Universidad politécnica de madrid.2007.
- [15] Catalogo HEDISA
- [16] Manual de Rocas Ornamentales.Cap.12.1996
- [17] Manual de Rocas Ornamentales.Cap.12.1996
- [18] Leo Ces Lavín. Maquinas Rozadoras
- [19] Explotación de Rocas Ornamentales. Diseños de explotación y selección de maquinaria y equipos. Cap. 10. Universidad politécnica de madrid.2007.
- [20] Juan Herrera Herbet (2006).Metodos de mineria a cielo abierto.Cap 9
- [21] Explotación de Rocas Ornamentales. Diseños de explotación y selección de maquinaria y equipos. Cap. 10. Universidad politécnica de madrid.2007.
- [22] Manual de Rocas Ornamentales.Cap.12.1996
- [23] Explotación de Rocas Ornamentales. Diseños de explotación y selección de maquinaria y equipos. Cap. 10. Universidad politécnica de madrid.2007.



Estudio de selección de técnicas de extracción, en función de eficacia y eficiencia, de areniscas en el área de Cantabria

- [24] Manual de Rocas Ornamentales.Cap.12.1996
- [25] Manual de Rocas Ornamentales.Cap.12.1996
- [26] es.wikipedia.org › wiki › San_Vicente_del_Monte
- [27] La piedra natural de España.2009
- [28] Sublitarenita. vctrac

Sublitarenita. Vctrac. [consulta: 3 enero 2020]

Disponible en: <https://vctrac.es/index.php?title=sublitarenita>

El granito. Wikipedia: la enciclopedia libre. [consulta: 27 Septiembre 2019]

Disponible en: <https://es.wikipedia.org/wiki/Granito>

El granito. Rocasyminerales. [consulta: 27 Septiembre 2019]

Disponible en: <https://www.rocasyminales.net/granito/>

San Vicente del Monte. Wikipedia: la enciclopedia libre. [consulta: 5 Enero 2020]

Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/San_Vicente_del_Monte

Desconocido. **Tema 2: Rocas ornamentales (Piedra Natural).** [En línea] [consulta: 10 octubre 2019]. Disponible en: <https://w3.ual.es/~mjariza/Tema2NatApuntes.pdf>

PAUL DANIEL, NICOLA CAREDDU. **Extracción Subterránea en Perspectiva.** [En Línea] [consulta: 15 Octubre 2019]. Disponible en: <https://www.litosonline.com/es/article/extraccion-subterranea-en-perspectiva>

Desconocido. **Piedra natural (Rocas ornamentales y piedra de cantería).** [En Línea] [consulta: 5 Noviembre 2019]. Disponible en: <http://www.igme.es/PanoramaMinero/Historico/1996/PNATURAL.pdf>

CLUSTERPIEDRA. **Informe sectorial 2016**[En Línea] [consulta: 10 Noviembre 2019]. Disponible en: <https://clusterpiedra.com/wp-content/uploads/2018/01/Informe-sectorial-CLUSTER-PIEDRA-2016.pdf>

IGME. **Piedra natural 2016** [En Línea] [consulta: 14 Noviembre 2019]. Disponible en:[http://www.igme.es/PanoramaMinero/actual/PIEDRA%20NATURAL%202016-PM_2017\(final\).pdf](http://www.igme.es/PanoramaMinero/actual/PIEDRA%20NATURAL%202016-PM_2017(final).pdf)

LOPEZ JIMENO, CARLOS, BUSTILLO REVUELTA,MANUEL, y otros.**Manual de Rocas Ornamentales: Prospección, explotación, elaboración y colocación.** MADRID: Carlos López Jimeno, 1996. ISBN:84-605-4957-7. [Bibliografía completa](#)

ELENA SARACHU, ELIZABETH VIVANCO, JOSE CARLOS LOPEZ, y otros. **La Piedra natural de España.** 21ª Edición. Bilbao: Reed Business Information, SAU.2009.

JOAN MARTINEZ BOFIL. **Información técnica sobre ensayos de caracterización de rocas para excavación y perforaciones subterráneas.** [En Línea] [consulta: 10 Enero 2020]. Disponible en:



http://serviciosdegeologia.es/descargas/Abrasividad%20y%20Dureza%20Rocas_ESCORSA_Info%20v.0.pdf

Desconocido. **Resistencia a compresión**. [En Línea] [consulta: 13 Enero 2020]. Disponible en: <https://www.instron.com.ar/library/glossary/compressive-strength>

Desconocido. **Unidad 2. Características mecánicas de los materiales**[En Línea] [consulta: 13 Enero 2020]. Disponible en: https://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm02/fcm2_5.html

GEMA FERNANDEZ MAROTO. **Apuntes Yacimientos Minerales**. [consulta: 25 Noviembre 2019]

JUAN HERRERA HERBET. **Metodos de mineria a cielo abierto**. Octubre 2006 [En Línea] [consulta: 20 Octubre 2019]. Disponible en: http://oa.upm.es/10675/1/20111122_METODOS_MINERIA_A_CIELO_ABIERTO.pdf

Servicio Geológico Mexicano (SGM). **Rocas metamórficas**. 22 Marzo 2017 [En Línea] [consulta: 16 Octubre 2019]. Disponible en: <https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Rocas/Rocas-metamorficas.html>

SALMONON RIVAS VALENZUELA. **Marmol**. 29 Septiembre 2011 [En Línea] [consulta: 25 Septiembre 2019]. Disponible en: http://construyedifica.com/index.php?option=com_content&view=article&id=92:marmol&catid=40:logo

VICTOR YEPES PIQUERAS. **Grúa Derrick**. 25 Diciembre 2012 [En Línea] [consulta: 9 Octubre 2019]. Disponible en: <https://victoryepes.blogs.upv.es/2012/12/25/grua-derrick/>

PALOMA M. ARIAS HOLGUIN-VERAS. **Las rocas ornamentales como material de revestimiento de edificios**. 25 Septiembre 2015 [En Línea]. [consulta: 30 Septiembre 2019]. Disponible en: https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/PalomaArias_TFM

Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas (2007). **Explotación Ornamental. Diseño de Explotaciones y Selección de Maquinaria y Equipos**. Noviembre 2007 [En Línea] [consulta: 25 Noviembre 2019]. Disponible en: http://oa.upm.es/21840/1/071120_L3_ROCA_ORNAMENTAL.pdf

Desconocido. **El Diamante**. [En Línea] [consulta: 3 Diciembre 2019]. Disponible en: <http://www.grisquintana.es/Empresas/Diamant/historia.htm>

Desconocido. **Hilo Estacionaria para Mármol**. [En Línea] [consulta: 5 Diciembre 2019]. Disponible en: <http://www.solgadiamant.com/producto/hilo-estacionaria-marmol/>

LEO CES LAVIN. **Maquinas Rozadoras**. [En Línea] [consulta: 10 Diciembre 2019]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/221466811/07-Rozador>